

# ハザードマップを活用した統計的手法によるリスク評価について

インターリスク総研 中西 翔 君

司会 お時間となりましたので、午後の部、セッションFを始めます。最初の発表はインターリスク総研の中西さんから「ハザードマップを活用した統計的手法によるリスク評価について」となります。

本セッションと次のセッションの「最新知見に基づく工学的洪水リスクモデルの開発について」は、いずれも自然災害リスクモデルに関する発表となります。

本セッションは統計的リスクモデル、次のセッションは工学的リスクモデルに関する発表ですが、あまり聞き慣れない方もいらっしゃると思いますので、各セッションの冒頭で、統計的リスクモデルと工学的リスクモデルの違いを簡単にご説明いただくこととしています。では、中西さん、よろしくお願いします。

平成29年度 アクチュアリー年次大会  
ハザードマップを活用した  
統計的手法によるリスク評価について

2017年11月10日(Fri)

株式会社 インターリスク総研  
MS&AD INSURANCE GROUP

中西 ただいまご紹介にあずかりました、インターリスク総研の中西と申します。本日は、どうぞよろしく願いいたします。

本日は「ハザードマップを活用した統計的手法によるリスク評価について」というタイトルで、話を進めさせていただきたいと思っております。

## 目次

---

- 1 研究の背景
- 2 自然災害リスク計量モデルについて
- 3 研究のワークフロー
- 4 確率浸水深の決定
- 5 地域関連の考慮
- 6 イベントカタログ生成
- 7 被害推定結果の比較
- 8 まとめ

目次ですけれども、今回お話をさせていただく内容は、先ほど青山様からもお話がありましたとおり、自然災害リスク計量モデルについての内容をお話しさせていただきたいと思っております。コンテンツとしては、このような1から8までの内容でお話をさせていただきますが、1番に、まず今回、統計的リスク評価手法に関する研究を進めさせていただいた背景についてご説明させていただきまして、2番で、初めに、自然災害リスク計量モデルについて、なかなかふだんの業務では携わっていない方や、あまり耳慣れない方も大勢いらっしゃるのかなと思いますので、最初に自然災害リスク計量モデルについて簡単にご説明させていただいたうえで、進めさせていただければと思っております。

そのあと3番から6番までのところで、実際に行った統計的なリスク評価手法についてのご説明をさせていただき、最後の7番で、今回、実際に研究として作業をしたリスク評価手法が、元々ハザードマップを使ってリスク評価をするという一般的な手法と、どの程度被害推定の結果が変動するのかということと比較してみるという内容になっております。最後に8番でまとめ。このような順番で進めさせていただきたいと思っております。

---

### 1 研究の背景

まず、背景です。

## 研究の背景

2011年にタイで発生した大規模な洪水では、950万人が影響を被り、死者が813名、経済被害が400億ドルに及ぶなど、多大な被害を受けた。また、タイ国内に留まらず、日本国の社会経済にも多大な影響を与えている。

このような激甚な自然災害が今後も国内外で発生することは十分に想定されることから、損害保険業界の一員として我々は、さらなる健全な業務運営の確保のためにも、より精緻な洪水リスク評価手法を考案する必要があると考え、今回の研究を実施した。



図:2011年タイ洪水による被害の様子

出典 (左)東洋経済online  
(右)pds.exblog.jp

MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 4

2011年、タイで発生した大規模な洪水。これは、皆様もご存じのとおり、タイ国内にとどまらず、日本国内においても、特に、われわれ損保業界にとっても多大な影響やインパクトを与えた災害であったことは、まだ記憶に新しい内容かと思っております。

このような激甚な自然災害が、今後も国内外で発生することは十分に想定されることですので、われわれ損保業界の一員としては、このような洪水リスクを将来予測する、あるいはリスク評価する手法をより精緻に考えていく必要があるという考えの下で、今回の研究を実施いたしました。

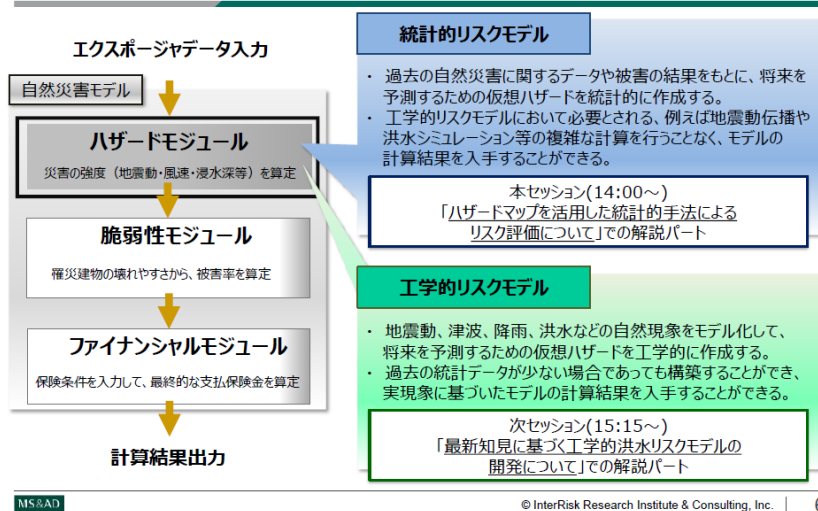
## 2 自然災害リスク計量モデルについて

MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 5

そして、自然災害リスク計量モデルについて、簡単にご説明をさせていただきたいと思っております。

## 統計的リスクモデルと工学的リスクモデル



MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 6

こちらのスライドに、自然災害モデルについての説明を記載させていただいておりますが、まず、左側の灰色の枠で囲ったところが、自然災害モデルについての大まかな構成要素になっております。

まず、ハザードモジュールというところで、災害自体の強度、自然災害の将来予測を行いますので、例えば、地震の揺れがどのくらいの大きさで建物の所在地までやってくるのか、あるいは、台風による風速は一体どのくらいの強さになってくるのか、また、洪水による浸水深をどのように評価するのか、このようなハザードの強度がどのくらいになるのかということ、最初にハザードモジュールという構成要素のところで考えます。

ハザードの強度に対して、今度は評価対象の建物の被害率について考えていく必要があります。木造の建物であれば、例えば、地震動によって比較的壊れやすかったり、高層ビルであったり、なかなか木造に比べると壊れにくいものもあります。このような建物の特性を勘案して、それぞれの対象物の壊れやすさについて考えたうえで、被害率を算定する。要するに、ハザードの強度と被害率との関係性を構築するための構成要素が、脆弱性モジュールと呼ばれるものになっております。

最後に、われわれ保険会社、保険業界の人間が最終的に知りたいことは、もちろん建物が壊れるか、壊れないかということもそうですけれども、保険金の支払いが一体幾らになるのかということも考えなければなりません。ということで、脆弱性モジュールで被害率を算定した建物に対して、保険契約の条件を当てはめることによって、最終的な保険金の支払いが一体幾らになるのかということを計算するファイナシャルモジュール、この三つの構成要素で、自然災害モデルは成り立っております。

なので、最初にエクスポージャーのデータを入力して、対象地域の、例えば、地震ですと、地震の揺れがその場所まで伝わって、その揺れによって、脆弱性モジュールで被害率を計算して、その被害率が保険条件を掛け合わせたときに、一体幾らの支払いにつながるのか。そして、最終的に計算結果が出力される。このような手順でモデルが構成されております。

続いて右側ですけれども、先ほど青山様から話がありましたとおり、統計的リスクモデルと工学的リスクモデルが存在しております。私の本セッションにおいては、上側の統計的リスクモデルについてのお話をさせていただきます。

一方、下側の工学的リスクモデルの内容については、次のセッション。次のセッションはAIR Worldwideの藤村様、および、あいおいニッセイ同和損害保険の谷崎様よりご説明をさせていただく予定となっておりますが、何が違うのかと言いますと、ハザードモジュールの部分が統計的なモデルと工学的モデルで異なる



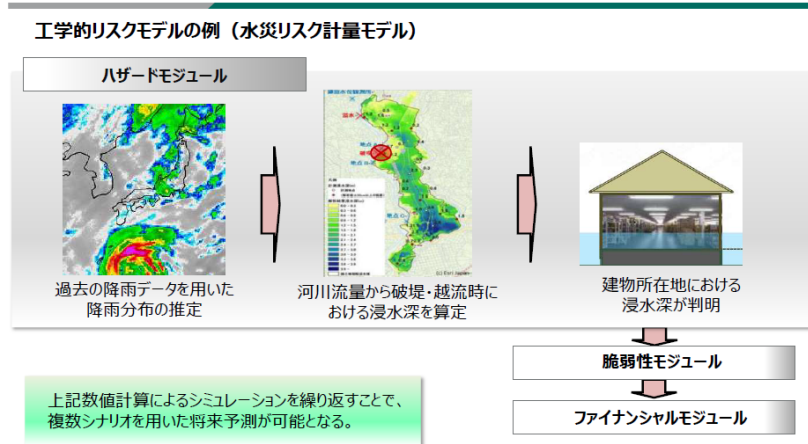
っていると、ご理解いただければと思っております。

上側の統計的リスクモデルについては、例えば、今回、洪水リスクの評価をご説明させていただきたいと思っております。対象地域において過去の浸水履歴などのデータを集めてきて、過去の浸水履歴や、その他一般的なデータから、将来どのぐらいの確率で、どのぐらいの浸水深、何 m になるのか、何 cm になるのかという関係を、例えば、確率分布を推定するなどして評価することによって、仮想的に洪水のハザードを作成していく。こちらが統計的なリスクモデルの考え方になっております。

一方で、工学的リスクモデルについては、例えば、洪水ですと、これも次のセッションの話になってしまうところはあるのですが、雨が降るところから物理的に事象を考えまして、雨が降って川に水が流れて、その流量によって堤防が破堤したり、堤防を越流したりすることがあると思うのですが、その後どのぐらいの氾濫域になるのか、どのぐらいの浸水深さになるのかということ、物理的な事象に従って考えているものが工学的リスクモデルになっております。

このように、ハザードモジュールのところそれぞれに違いがあるということが、今回と次のセッションの違いになりますので、ここをご認識いただいたうえで聞いていただければと思っております。

## 工学的リスクモデルの例



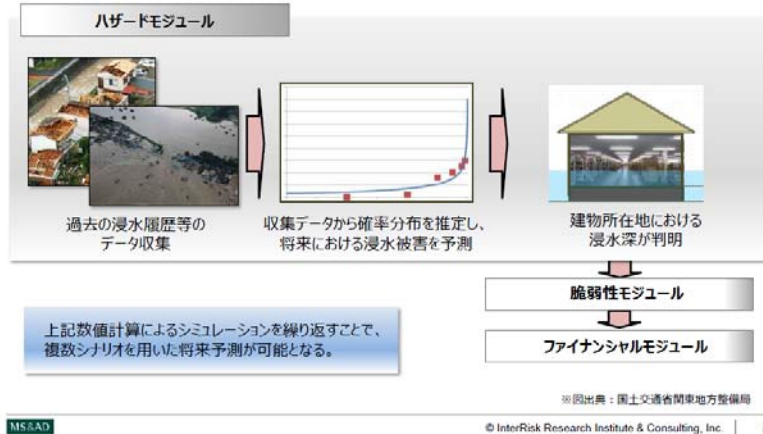
MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 7

今、お話しさせていただいた内容のとおりなのですが、工学的リスクモデルの例として、最初に降雨分布を推定しまして、雨を降らせて、次のステップで河川の流量を決定する。堤防から越流した際の浸水深や氾濫域を計算しまして、対象物の地点における浸水深が判明するので、そこまでをハザードのモジュールで行っている。浸水深と被害率の関係を考えるのは、先ほどご説明しましたとおり、脆弱性モジュールのファクターですので、脆弱性モジュールで被害率を考えて、最終的に保険金支払いを行う。この一連の数値計算を何度も繰り返すことによって、複数のシナリオを用いた将来予測が可能になるというプロセスとなっております。

## 統計的リスクモデルの例

### 統計的リスクモデルの例（水災リスク計量モデル）



統計的リスクモデルについてもプロセス自体は同様です。最初に、物理的に事象を考えるのではなく、浸水履歴などの過去のデータを収集することによって、過去のデータだけでなく、その他のデータでもいいですけども、そこから確率分布を推定するなどして、将来における浸水被害を予測します。何%の確率で、何 m の浸水深が出るということの評価したうえで、対象物の地点における浸水深を求めて、あとは同じです。脆弱性モジュール、ファイナンシャルモジュールで、最終的な保険金の支払いを決定する。このようなプロセスになっております。

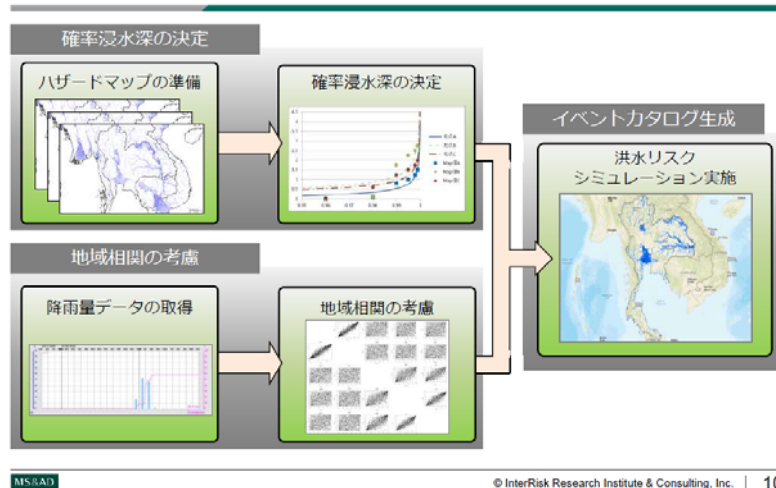
## 3 研究のワークフロー

MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 9

ここまで自然災害リスク計量モデルについて簡単にご説明させていただきました。これより、今回行った統計的なリスク評価手法に関するご説明をさせていただきたいと思っております。

## 研究のワークフロー



ワークフローといたしましては、まず上段で、確率浸水深と呼んでおります確率浸水深を決定して、下段で地域的な洪水リスクの相関を考える。これらを最終的に重ね合わせることで、イベントカタログ生成という手順に進めさせていただいております。

今回、評価対象の地域として、タイ王国を対象とすることといたしました。そのため、最初に、左上ですけれども、そもそもハザードマップからリスク評価を行っていきたいという趣旨でございますので、ハザードマップを用意するところから始めています。タイの洪水リスクのハザードマップを準備して、そこから確率的な浸水深を決定することと、下段で、降雨量データを持ってきて、降雨量データの相関関係を考慮することによって、地域的な洪水リスクの相関関係を考えるということを実施しています。

これらを組み合わせて、イベントカタログと書いてあるものなのですが、今回、洪水リスクのシミュレーションを実施する際に、例えば、仮想的に洪水のイベントを作成しまして、そのイベントを複数シナリオ作成することによって、例えば、今回1万種類の洪水イベントを仮想的に作成したのですが、この1万種類を使うことによって、何度もシミュレーションを行う。再現期間200年の被害や、再現期間500年の被害など、複数イベントを用いてシミュレーションすることによって評価しようと思っております。そのための複数イベントのことを、イベントカタログと表現しております。このイベントカタログを作ることが今回の目的になってまいります。

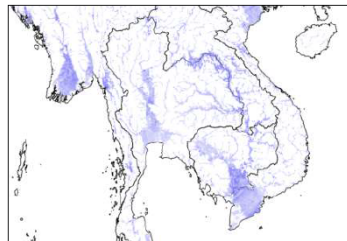
説明の順番としましては、上段の確率浸水深の決定からお話をさせていただいて、次に下段の地域相関の話、そして最後にこれらを合わせたイベントカタログの生成という順番で、説明させていただきます。

## 4 確率浸水深の決定

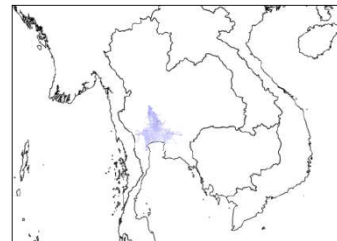
確率浸水深の決定という 4 章のところでは、

### 仮想洪水イベントを作成する理由

本研究では、ハザードマップから複数の仮想洪水イベントを作成してシミュレーションを実施することで、洪水リスク評価を行う。



再現期間200年ハザードマップ



1つの仮想洪水イベント(例)

左図のハザードマップは「全ての地域が同時に再現期間200年の洪水被害を受けた場合のマップ」である。⇒ **実際には起こりえない。(起こる可能性は極めて低い)**

右図の仮想洪水イベントは、ある特定の地域のみ再現期間200年の洪水被害を受けた場合を表す。⇒ **実際に起こり得る「1つのイベント」として捉えることができる。**

そもそも、なぜこのような仮想的な洪水イベントを作成するのかという話なのですが、左側が再現期間 200 年のハザードマップであって、これは洪水リスクのハザードマップですけれども、例えば、ある地域が再現期間 200 年の浸水被害を受けた場合に、他の地域も、このマップですと、同時に 200 年の被害を受けるようなマップになっております。実際の現象としては起こりえない、もちろん起こりえないとは言いきれないと思いますので、起こる可能性は極めて低いと考えることができると思います。タイ全土が全く同時に再現期間 200 年の洪水被害に見舞われるという可能性は、極めて低いだろうと。

一方、右側の図ですけれども、右側はとても極端なのですが、ある一部分についてだけ再現期間 200 年の洪水被害が発生しています。だからといって、他の地域も同時に再現期間 200 年の洪水が発生するとは限らないという考えの下で、ある限られた地域だけが被災しているというものになっております。このようなものを仮想洪水イベントと呼んでおりますが、実際に起こりうる一つの現象、一つのイベントとして捉えられるのではないかと理由で、右側のイベントを幾つも作っていくという内容となっております。

## 洪水ハザードマップ情報



(Global Risk Data Platform URL : <http://preview.grid.unep.ch/>)

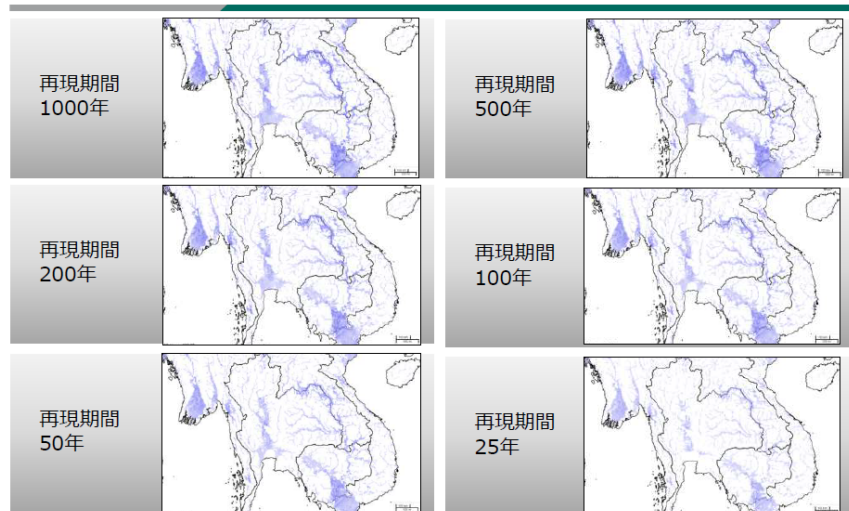
今回の研究には、様々な種類のハザードマップが取得可能な  
**Global Risk Data Platform** (UNISDR:国連国際防災戦略事務局)のデータを利用。  
タイ地域における、再現期間ごとの6種類の洪水ハザードマップを取得。

MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 13

最初に、洪水ハザードマップを用意しなければならないのですが、洪水ハザードマップとして、今回の研究には Global Risk Data Platform と呼ばれるところの、洪水リスクに関するハザードマップを利用いたしました。タイの地域における再現期間ごとの、6種類の洪水ハザードマップを取得しております。

## 再現期間毎の洪水ハザードマップ



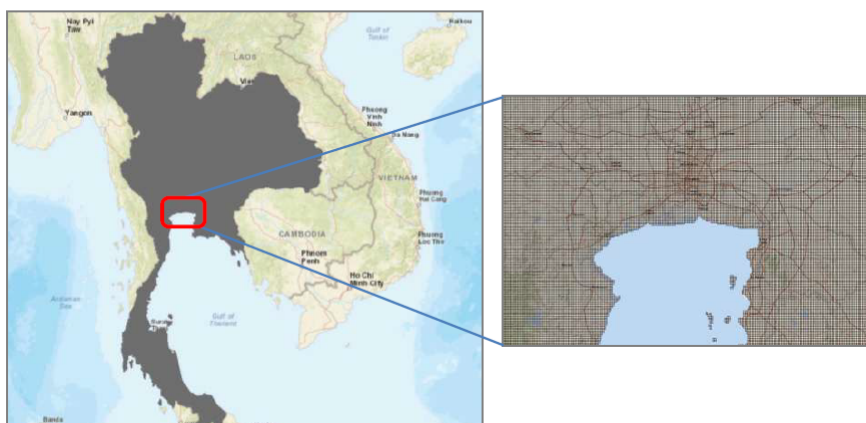
MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 14

再現期間ごとの洪水ハザードマップとして、1,000年、500年、200年、100年、50年、25年の、6種類のハザードマップを用意しております。これらの6種類のハザードマップから複数の仮想洪水イベントを作成することが今回の目的です。



## メッシュデータの準備



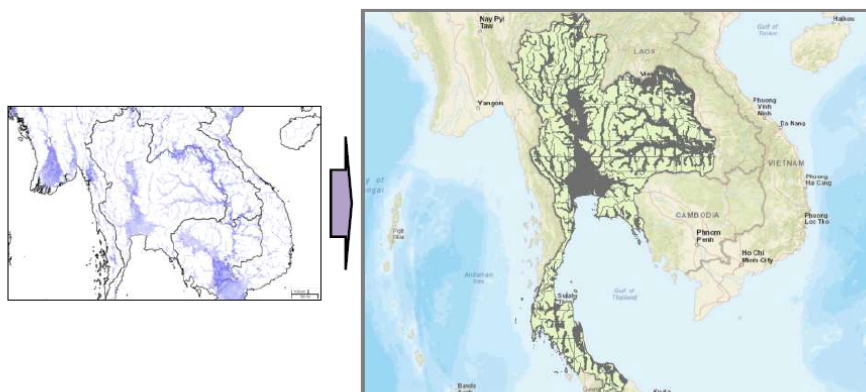
1kmメッシュの格子点データを作成する。  
洪水による浸水深をメッシュ毎に入力することで、洪水イベントを作成する。

MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 15

今回、取得したハザードマップは画像データとして得られているものでしたので、これを浸水深の数値情報に直すために、メッシュデータを準備しております。本来、このメッシュは細かければ細かいほど精緻なリスク評価ができると思っているのですが、今回は計算量等との兼ね合いから、1キロメッシュの格子点データを用意しております。1キロメッシュの格子点データに、それぞれのメッシュごとに浸水深の情報、あるメッシュは何m、あるメッシュは何cmだという情報を入力していくという作り方をしていきます。

## ハザードマップのメッシュデータ化



ハザードマップが画像データであるため、1kmメッシュごとの数値データへ変換。  
ここで、数値とはハザードマップの色の濃さを基に決定した、0~255までのRGB値のことをいうこととする。色が濃いほど、浸水深が深い。

MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 16

タイ全土について1キロメッシュのデータを用意したあと、今度はハザードマップ自体を数値化していく作業を行っております。ハザードマップが画像データであるため、1キロメッシュの数値データに変換しているのですが、この数値自体は色の濃さを基に決定いたしました。色の濃さと、それに対応する浸水深が凡例として与えられておりますので、その凡例を利用しまして、0から255までのRGB値、色の濃さを表す数値から浸水深を推定するという行っております。ハザードマップの色が濃いこ

ろほど、浸水深が深いということが言えると思います。このようにして6種類のすべてのハザードマップを数値化していきました。

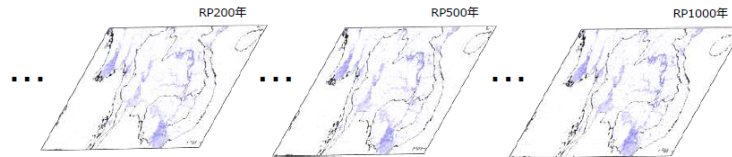
## 浸水深値の補間作業

準備したハザードマップだけでは、6種類の再現期間の浸水深情報しか得られない。数多くの洪水イベントを作成する為には、それら以外の再現期間の浸水深を、補間作業で推定する必要がある。

ex. ハザードマップから得られる、ある1つのメッシュの浸水深

再現期間(年)	25	...	50	...	100	...	200	...	500	...	1000
非超過確率	0.96	...	0.98	...	0.99	...	0.995	...	0.998	...	0.999
浸水深(m)	0	...	0.1	...	0.8	...	1	...	1.25	...	1.5

これらの間の再現期間における浸水深を推定する。



MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 17

今回、複数種類の仮想洪水シナリオを作成したいと考えているのですが、今の6種類のハザードマップだけからでは、6種類の再現期間の被害しか推定することができません。例えば、再現期間が300年の浸水深は幾らなのだという話や、再現期間が70年の浸水深は幾らなのか。この間における再現期間の浸水深を推定したい。これらを推定することによって、いかなる再現期間の被害が発生した場合でも、浸水深が分かるような状態にしておきたいということが目的でございます。

## 一般化極値分布(GEV)の利用

ハザードマップから抽出した浸水深の数値データを、確率分布を用いて非線形補間する。今回は一般化極値分布(GEV: Generalized Extreme Value distribution)を採用した。GEVは、最大値等の極値の挙動を表すのに適した確率分布であり、テールリスクの評価を行う観点から望ましいと考える。

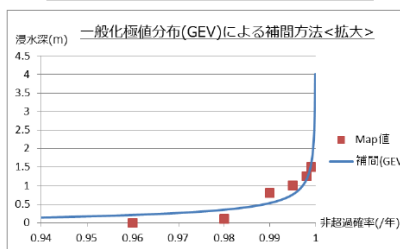
(i) 1つのメッシュの再現期間ごとの浸水深を取得

再現期間(年)	25	50	100	200	500	1000
非超過確率	0.96	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
浸水深(m)	0	0.1	0.8	1	1.25	1.5

(ii) 最小二乗法を用いたパラメータ推定

$\sigma$	$\mu$	$\xi$	$\sigma$ : 尺度パラメータ
0.0558	-0.127	0.3609	$\mu$ : 位置パラメータ
			$\xi$ : 形状パラメータ

(iii) GEVによる回帰式の描画



(i)~(iii)を、メッシュの数だけ繰り返す。本研究では50万メッシュ分繰り返した。

MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 18

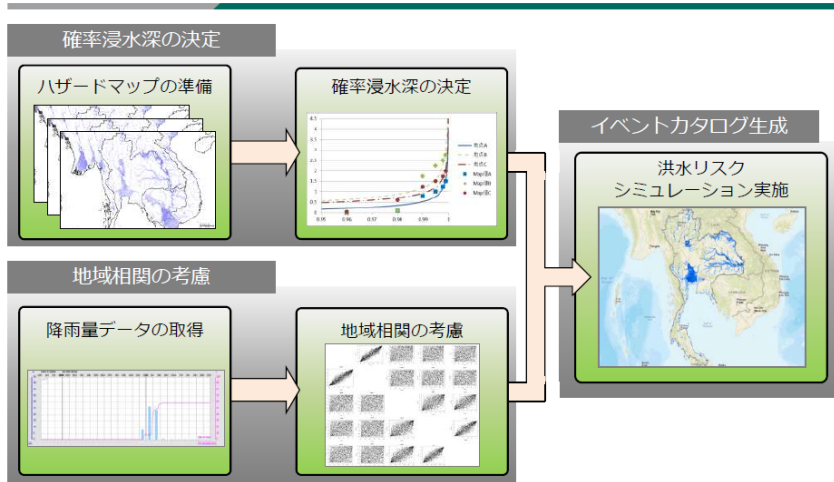
ハザードマップから抽出した浸水深の数値データを非線形的に補間するために、今回は一般化極値分布を利用しております。この(i)、(ii)、(iii)の順番で補間を行っております、それぞれのメッシュごとにハザードマップから得られた浸水深の情報が、6枚のハザードマップを使っておりますので、6種類あります。これらの6つの点について、パラメータを推定して、そこから非線形補間を行っているといったような内容です。

この作業をメッシュの数だけそれぞれ繰り返す。それぞれのメッシュがこのような分布を持っているようなイメージでございます。これらの分布をそれぞれのメッシュが持つことによって、いかなる再現期間



が、点の間の再現期間の被害が発生した場合でも、どのぐらいの浸水深になるのかということが評価できるという状態にしております。

## 研究のワークフロー



MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 10

このような浸水深を確率浸水深と呼んでおりますが、今、このワークフローの中の上段のところまでのご説明をさせていただきました。

簡単に申し上げますと、ハザードマップを準備して、そこから浸水深の数値情報を入手しまして、浸水深の数値情報を、確率分布を用いて補間しているという状態です。今、上段はいかなる再現期間の浸水深も、メッシュごとに表現できるような状態にしております。この状態のまま、下の段の地域相関の考慮について進めていきたいと思っております。

## 5 地域相関の考慮

MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 19

## ゾーン区分の作成



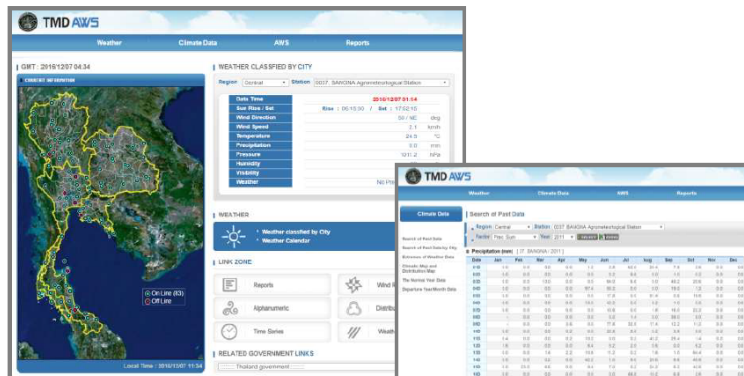
タイ全土を13のゾーンに区分。(計算量との兼ね合いから、13ゾーンに決定。)  
それぞれのゾーン間の地域相関を考慮するスキーム作りが本章の目的。

MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 20

まず、地域的な相関関係を考慮するために、ゾーンの区分を作成しました。今回はこのゾーンの区分も相関関係を表すので、細かければ細かいほど精緻なものができると考えているのですけれども、こちらも計算量との兼ね合いもあり、13のゾーンで今回は実施いたしました。この13のゾーンどうしの洪水リスクの相関関係を用意することが、この章の目的でございます。

## 降雨量データの取得



タイ気象局(TMD : Thailand Meteorological Department)の自動観測所データベースより、観測降雨量データを取得。TMDは日本の気象庁にあたる機関であり、データソースとして一定の信頼性があると判断。

MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 21

ゾーンの間相関関係を取得するために、降雨量のデータを手に入れました。タイの気象局と呼ばれるところの観測データベースより、観測降雨量のデータを取得しております。こちらは日本の気象庁に当たる機関であって、データソースとしては一定の信頼性があると判断して利用しております。

## 降雨量データの取得



▲ : 代表観測所

入手データは、それぞれのゾーンの代表観測所における日合計降水量データとした。  
ゾーンごとに、2008～2016の観測降雨量データ（欠損値を含む日および晴れの日を除く）を入手した。

MIS&AD

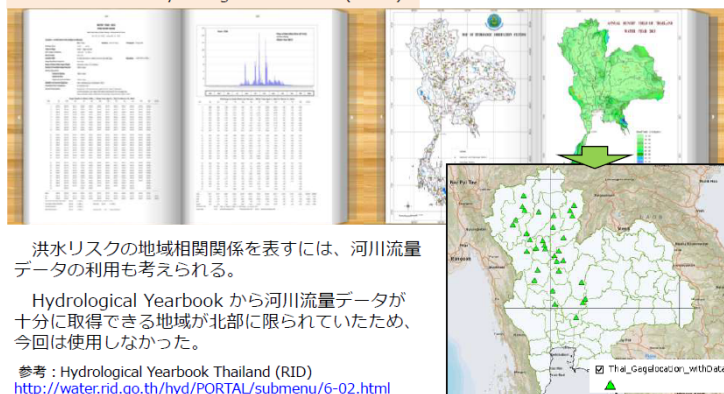
© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 22

でも、観測点がタイ全土に幾つもあるので、どの観測点の降雨量データを取得するのかという話ですけれども、それぞれのゾーンごとに代表的な観測所を決定しまして、代表観測所の降雨量を入力する作業しております。欠損値をなるべく含んでいない場所や、なるべくデータが得やすいところを代表的な観測所としております。

代表観測所の地点における降雨量の相関関係をもって、それぞれのゾーンどうしの降雨量の地域的な相関を見ていきたいと思っております。使用したデータは、日の合計降水量データを利用して、2008 から 2016 までの観測降雨量を利用しております。

## (参考)河川流量データソース

### 河川流量データ Hydrological Yearbook(2013)



洪水リスクの地域相関関係を表すには、河川流量データの利用も考えられる。

Hydrological Yearbook から河川流量データが十分に取得できる地域が北部に限られていたため、今回は使用しなかった。

参考 : Hydrological Yearbook Thailand (RID)  
<http://water.rid.go.th/hyd/PORTAL/submenu/6-02.html>

MIS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 23

今回、降雨量のデータの相関関係が、洪水リスクに直結するだろうという一定の仮定の下で話を進めさせていただいているのですが、本来、洪水リスクの地域的な相関は、河川の流量や、川を流れる水の多さで相関関係を取ることが望ましいのではないかと考えてもありまして、表示しているような『Hydrological Yearbook』から河川流量データを入力するという作業も試みたのですが、地域相関関係を表すためには河川流量データの利用も考えられますが、右下の図のとおり、一定地域のデータしか得ることができなくて、なかなかバンコクやタイの主要部分のデータをうまく入手することができなかったという背景がございまして、今回はタイ全土の相関関係を取りたいという意味から、降雨量のデータを使用しております。データが入手可能な状態であれば、このように河川流量のデータから洪水リスクの相関関係を取ってくるのが、よりベターなのではないかと思っております。

## コピュラの利用

複数地点の降雨量に相関があると考えるとき、多変量の依存構造を表すコピュラを利用することができる。本研究においては、降雨量の地域相関関係を表すコピュラを構築した後、同関数を利用してイベントカタログを生成している。

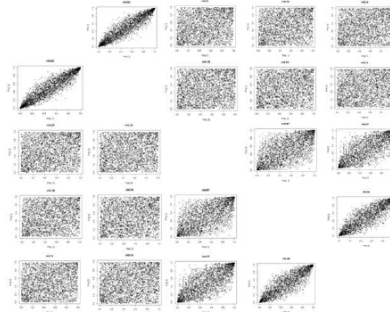


図:5変量の相関を表すコピュラの例

MS&AD

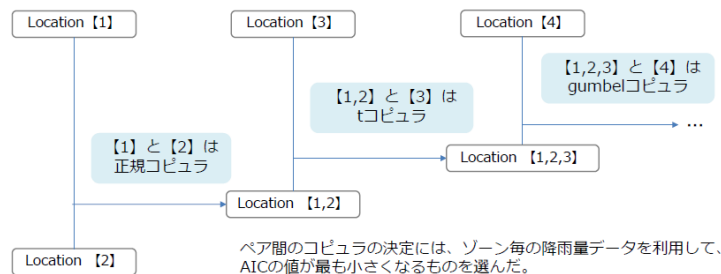
© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 24

今回は降雨量のデータの相関を取るという内容で話を進めさせていただきますが、タイ全土の洪水リスクの相関を取る手法としてコピュラを採用しています。本研究においては、観測降雨量からコピュラ関数を構築したあと、そのコピュラに従う相関付きの乱数を振ることによって、イベントカタログを生成するという手順を踏んでおります。

## ヴァインコピュラ

多変量の依存構造の表現方法として、ヴァインコピュラを適用した。

ヴァインコピュラの利用によって、2変量どうしの依存構造を適切にモデル化することが期待できる。



MS&AD

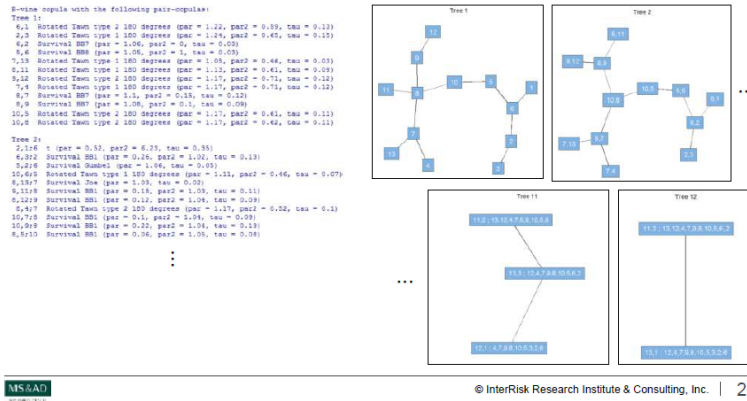
© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 25

コピュラの種類として、ヴァイン・コピュラと呼ばれるものを採用しております。ヴァイン・コピュラの利用によって、例えば、前に書いてある図についてですけれども、ロケーション1と2はそれぞれのゾーン、ないしは代表観測とさせていただければと思います。まず二つのゾーンを選びまして、ゾーン1とゾーン2のペア間のコピュラを決定します。1と2は、例えば、正規コピュラにしましょう。そうすると、1と2の同時分布のようなものができ上がると思いますので、その分布とロケーション3との依存構造をどうするかというと、別のコピュラにしましょう。Tコピュラにしましょうということを決定できる。そうすると、また同時分布ができ上がりますので、その分布と他のロケーションとのコピュラを、また別のコピュラで決定するというのを、幾つもペアを作っていくことによって、例えば、タイ全体を正規コピュラにしましょうであったり、Tコピュラにしましょうであったり、1種類のコピュラで依存構造を考えるとといったものよりも、より精緻に2変量どうしの関係をモデル化できることが期待できるという目的で、使用しております。

ペア間のコピュラをどのように決定するかという話については、AICの値が最も小さくなるものを選ぶという基準を採用しております。

## ヴァインコピュラのツリー

ヴァインコピュラを形成するツリーのイメージ



ヴァイン・コピュラのイメージですけれども、右側の図のうち、字が小さくて申し訳ないですけれども、ツリー1と呼ばれるもの。最初の図については13のゾーンがそれぞれ線で結ばれている状態となっております。これらの線のゾーン間のコピュラをそれぞれ決定しまして、今度、ツリー2のところ、一つ組が減っていると思うのですけれども、それぞれの同時分布、2変量の分布どうしの依存構造を決定しております。ということ、どんどんペアを作って続けていくと、最終的に、右下のツリー11のところ、コピュラを考えるのが2種類になって、1種類になって、最後まで行くと、全体の相関関係を考えることができる関数になっているという仕組みになっております。

左側は、今回、Rを用いて実施したのですけれども、それぞれゾーンごとの、例えば、6のゾーンと1のゾーンはどのコピュラを使って、そのパラメータを幾らにするのかということ、すべてのペアについて決定しているものでございます。これが最後のペアまで全部作られるという内容です。

## ヴァインコピュラの数式展開

- 3変量の同時分布関数を表すコピュラ $C_{i,j,k}$ と周辺分布関数 $F_i$ 

$$F(x_1, x_2, x_3) = C_{1,2,3}(F_1(x_1), F_2(x_2), F_3(x_3))$$
- 3変量の同時密度関数を表すコピュラ $c_{i,j,k}$ と周辺分布関数 $F_i$ 、周辺密度関数 $f_i$ 

$$f(x_1, x_2, x_3) = c_{1,2,3}(F_1(x_1), F_2(x_2), F_3(x_3))f_1(x_1)f_2(x_2)f_3(x_3)$$
- 条件付分布関数と条件付コピュラで表した場合の3変量の同時密度関数 $f$ 

$$f(x_1, x_2, x_3) = \frac{c_{1,3|2}(F_1(x_1|x_2), F_3(x_3|x_2))c_{1,2}(F_1(x_1), F_2(x_2))}{\times c_{2,3}(F_2(x_2), F_3(x_3))}f_1(x_1)f_2(x_2)f_3(x_3)$$

$C_{1,2}$ ,  $C_{2,3}$ ,  $C_{1,3|2}$  の3つのコピュラについて、それぞれの2変量の依存構造を表すのに最も適当なコピュラを選択することができる。

数式的な展開です。数式でどのように考えているかといいますと、一番上の同時分布を表すコピュラについては、一般的なコピュラを考え方だと思えます。同時分布を、コピュラを使って表す方法。同時分布関数を用いて表す方法です。そこから中段、密度関数についてもコピュラを用いて表すことができます。



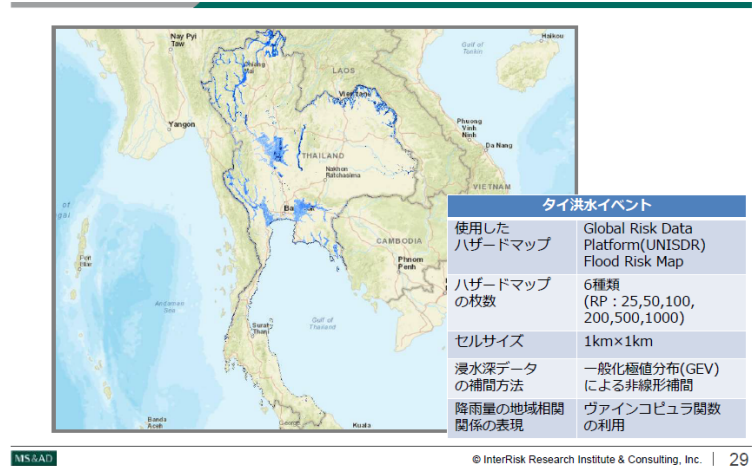
中段と下段は同じ密度関数を表しているのですが、コンピュータについて同時分布自体を条件付きの表現で表すことによって、中段ではコンピュータが1種類しか登場していないことに対して、下段ではコンピュータが3種類に分けられていることが分かります。これらの三つのコンピュータについて、それぞれ別々の依存構造を採用することによって、例えば、中段では一つの依存構造しか特定できなかったものが、細かく設定できるといった内容になっております。

このような原理で、13ゾーンのすべてについて依存構造を決定するという手法で、地域相関関係を決定しております。

## 6 イベントカタログ生成

これで下段のところ、地域的な相関関係を表現するところまでのご説明が終わりましたので、今度、最終的に、複数の仮想洪水イベントを作成する、イベントカタログを作るところの説明になります。

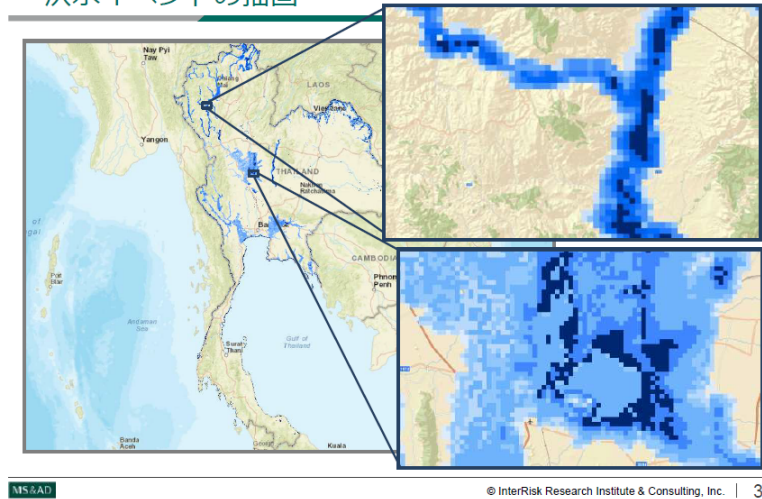
### 洪水イベントの描画



冒頭に申しあげましたとおり、タイ全土が200年に一度の洪水で被災するのではなくて、今回作成した仮想洪水イベントは、今、一つ表示しているのですが、ある地域では洪水が発生していて、また他の地域では洪水が発生していないようなマップが作成されております。

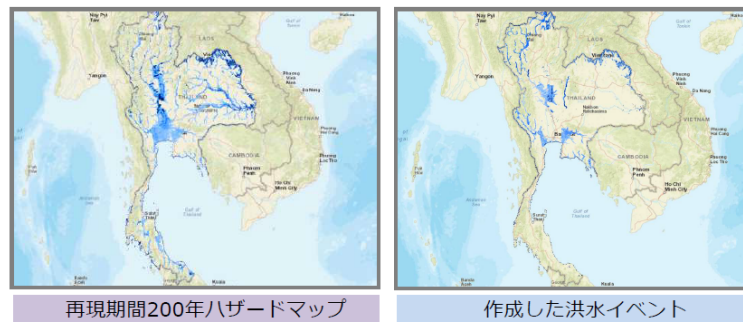
右下に、それぞれ使用した手法などを書いております。ハザードマップ自体はGlobal Risk Data PlatformのFlood Risk Mapを利用しまして、ハザードマップ再現期間6種類を利用しております。セルサイズは1キロ×1キロで、一般化極値分布によってデータを補間して、ヴァイン・コンピュータ関数を用いて、地域相関関係を表現しております。

## 洪水イベントの描画



細かく見ると、メッシュごとに浸水深が深いところほど、濃い色にしております。色によってメッシュごとの浸水深が、目で見て分かるような状態になっております。

## 作成洪水イベントとハザードマップとの比較



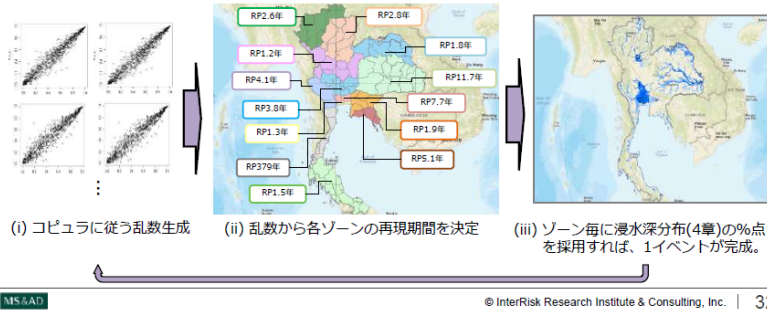
再現期間 200 年のハザードマップ。左側は、先ほど紫色で表示をしていたものと同じもので、色を変えただけですが、タイ全土全域が浸水する、再現期間 200 年の被害を受けるハザードマップと、右側が今回作成した仮想的な洪水イベントの一つになっております。このように並べてみると、全域が被災しているのか、また部分的には被災しているものの、他の地域ではそうではないのかという差が分かります。



## コンピュータに従うモンテカルロシミュレーションの実施

コンピュータに従う乱数(0~1)を発生させて、その値を、各ゾーンの浸水深分布の再現期間(パーセント点)と考える。

全ての地域の浸水深をコンピュータによる乱数に従って決定すれば、一つの仮想洪水イベントが作成できる為、これを10000個の乱数で実施する。



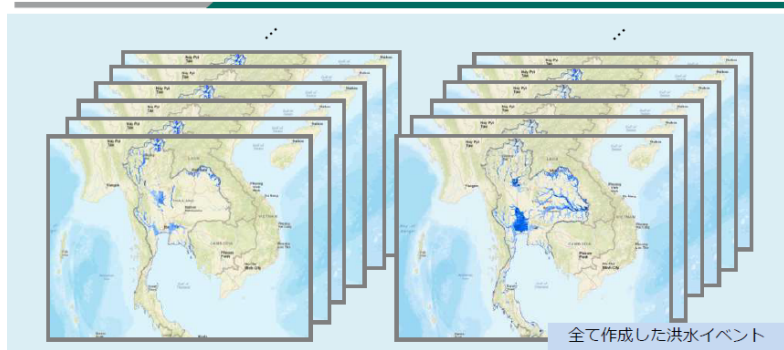
今、結果だけ、作成した仮想洪水イベントだけをお見せしたのですが、これをどのように作っているかといいますと、先ほど作成したコンピュータの関数を用いて、コンピュータに従う乱数を発生させて、その値から各メッシュにおけるパーセンタイル点、再現期間を決定していております。この図ですと左側の1のところ、コンピュータに従う乱数を生成させて、相関つきの乱数によるモンテカルロ・シミュレーションを行っているということになります。

相関つきの乱数から、今回、13のゾーンで行ったのですが、それぞれのゾーンにおける再現期間、例えば、乱数0.99であれば99%なので、100年に1回の被害であったり、そのような考え方の下で、各ゾーンの再現期間を決定していきます。

そのあと、再現期間ごとに浸水深を表現したいのですが、最初の確率浸水深を推定するといったフェーズのところにおいて、データを補間していますので、いかなる再現期間についても浸水深が分かっている状態になっていますので、メッシュごとに決定した再現期間に該当する浸水深をプロットしていったものが、一番右の仮想洪水イベントの図になっております。

これを複数乱数で幾つも作成することによって、右側が少し小さいですが、このように、いろいろなところが浸水したり、しなかったりといった相関を考慮した仮想的な洪水イベントが作成できるという内容になっております。

## 複数の仮想洪水イベント作成

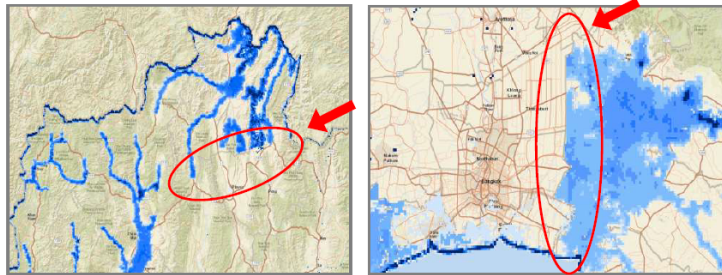


同様の仮想洪水イベント作成を、コンピュータによる異なる乱数の組み合わせを用いて1万回繰り返し返せば、1万種類のイベントが描画できる。年1回仮想洪水イベントが発生すると仮定した場合、1万年分のシミュレーションが可能となる。

⇒ 洪水ハザードマップから、1万年イベントカタログを創り出すことができる。

この相関つきの乱数を、今回、1万回使用しまして、1万種類の仮想洪水イベントを作成しました。今回は、かりに年に一度だけ仮想洪水イベントの被害が発生すると仮定した場合、1万種類のイベントを基に1万年分のシミュレーションが可能となる状態としております。このような作業をすることによって、元々洪水ハザードマップしかなかったものから、1万年分のイベントを作り出すということを実施しております。

### 作成した洪水イベントの課題



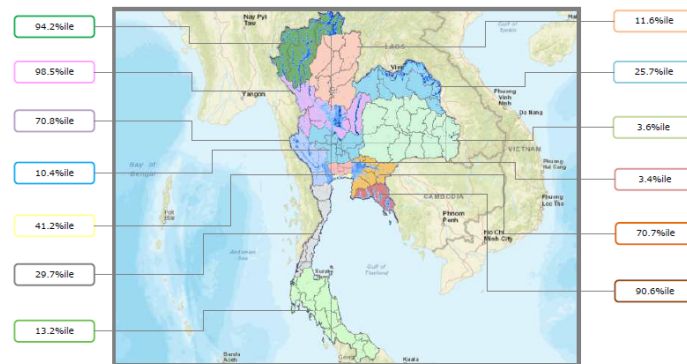
コピュラを用いて地域相関を考えているが、隣合うゾーンどうしの浸水深が河川形状によらず極端な変化を示す場合がある。

MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 34

作成したものについても課題があるのですが、コピュラを用いて地域的な相関を考えており、隣り合うゾーンどうしがなるべく極端な変化をしないようになっているのですが、乱数の値によっては、例えば、河川の形状によらずに極端に変化してしまう場合が存在してしまっています。

### 作成した洪水イベントの課題



ゾーンごとに区分した背景の上に描画すると、浸水深の極端な差がわかりやすい。

MS&AD

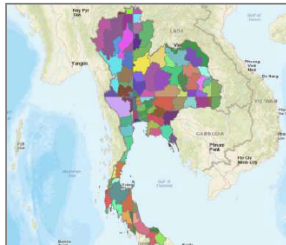
© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 35

全体を通してみると、ゾーンごとに分けた図を見ると、かなり分かりやすい表になっているのですが、これを解決するための課題といたしましては、例えば、今回、13のゾーンと、少し粗いゾーンで実施してしまったということがありまして、もう少し細かくゾーンを区分することによって、たくさんのデータ間の相関を利用することによって解決できるかなと思っています。

## 作成した洪水イベントの課題

### 解決策

- ・より細かくゾーンを区分することによって、沢山のデータ間の相関を利用する。(下図)
- ・補間手法等を用いてゾーン間の変化に対してスムージングを行う。
- ・ゾーン区分を、行政区分ごとではなく集水域ごとに決定する。等



※ より細かいゾーン区分は、相当数の多変量相関の計算を実施する必要がある為、今回は13ゾーンで行った。

MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 36

また、例えば、ゾーン間の値については、何かしらのスムージングといたしますか、補間方法を使用することによって変化をなめらかにする、ないしは、今回、タイの行政区分ごとにゾーンを作成したのですが、集水域ごとにゾーンを作成する。例えば、集水域ごとにゾーンを作成しますと、ゾーンの境目において浸水が発生しているという現象が比較的少なくなると思いますので、このような工夫をすることによって解決できるのではと考えております。

## 7 被害推定結果の比較

MS&AD

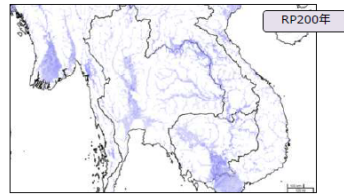
© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 37

ここまでで、仮想的な洪水イベントを用いて、複数シナリオを作成して、リスク評価を行うというご説明をさせていただいたのですが、最後に、このリスク評価手法を用いることによって、本来的にハザードマップを利用して行うリスク評価手法と、どのぐらい結果変動があるのかということを確認しております。

## 被害推定結果の比較

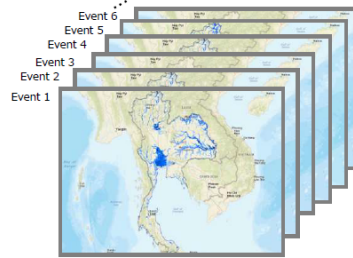
保険会社のエクスポージャーの一部を用いて、下記のそれぞれの方法によって再現期間200年の被害が発生した場合のエクスポージャー全体の被害率を推定して、被害推定結果を比較した。

### ① ハザードマップを重ねて推定した被害率



洪水ハザードマップ

### ② 今回の手法：地域相関を考慮したシミュレーションによる被害率



仮想洪水シミュレーション

MS&AD

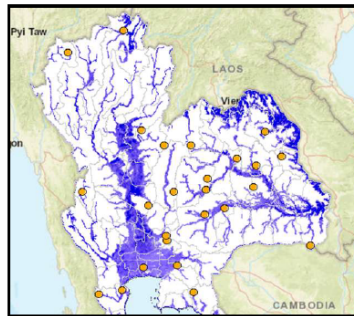
© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 38

被害推定結果の比較として、左側については、単純にハザードマップをエクスポージャーが存在している地域、タイ全土に重ね合わせることによって、そのエクスポージャーとハザードマップが重なり合う場所の浸水深を入手することで被害を計算するという手法と、右側は今回行った地域相関を考慮したシミュレーションによる被害率について考える手法と、それぞれについてどのぐらい推定被害率に差があるのかということと比較いたしました。今回、推定する被害率としては、再現期間 200 年の被害がどのぐらいの大きさになるのかというものを比較することとしております。

## 被害推定結果の比較 ①ハザードマップ

### ①ハザードマップを重ねて推定した被害率

保険会社のエクスポージャーの一部をタイ全土にプロット。ハザードマップを重ね合わせることで、各地点における浸水深を求める。



※図示されている点は、実際のエクスポージャーとは異なります。

MS&AD


© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 39

まず、1 番です。ハザードマップをエクスポージャーに重ねて浸水深を求める手法です。もちろん実際のエクスポージャーではない設定になっているのですが、このエクスポージャーの一部をタイの全土にプロットしまして、ハザードマップを重ね合わせることで、各地点における浸水深を求めております。このような感じです。このようなイメージで、エクスポージャー自体が重なり合う浸水深のところの値を取ってきて、一体幾らの浸水深になるのかということを確認しております。

## 被害推定結果の比較 ①ハザードマップ

### ①ハザードマップを重ねて推定した被害率

各地点の浸水深から、各エクスポージャーの被害率を求める。  
今回は簡易的に、既存の被害関数(US Army Corps of Engineers)を利用した。



Flood Depth(ft)	Flood Depth(m)	Percent Damaged							
		Metal Frame				Wood or Steel Frame			
		Freshwater		Saltwater		Freshwater		Saltwater	
Short	Long	Short	Long	Short	Long	Short	Long		
0	0	3.9	3.9	3.9	4.1	0	0	0	0
0.5	0.1524	15.2	15.9	15.2	16.6	27.1	27.3	27.1	28.1
1	0.3048	17.3	18.1	17.3	18.9	31.6	31.8	31.6	32.8
1.5	0.4572	19	20.1	19	21.2	34	34.4	34	35.2
2	0.6096	22.1	23.2	22.1	24.5	36.3	36.8	36.3	37.9
3	0.9144	24.4	25.6	24.4	27.1	37.8	38.4	37.8	39.7

MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 40

ここはハザードモジュールのところではなくて、最初に自然災害モデルについてのご説明をさせていただいた脆弱性モジュールの部分の話になるのですが、このハザードマップを重ねることによって、エクスポージャーの浸水深が分かったとしても、その浸水深から被害率が幾らになるのかということ进行計算しなければなりません。ここは、自然災害モデルを考える中で非常に重要なファクターになると思っております。この被害率と浸水深の関係式が変わることによって、結果も大きく変わってきますので、本来、ここは非常に慎重に考えるべき部分ではあるのですが、今回は両者のリスク評価手法の比較を行うといった観点から、簡易的に既存の被害関数を用いて行っております。既存の被害関数である、US Army Corps of Engineers というところの被害関数を採用しております。このように、前に表示してあるとおり、フラッドの浸水深と被害率の関係性が記載されております。

## 被害推定結果の比較 ①ハザードマップ

### ①ハザードマップを重ねて推定した被害率

各地点の浸水深から、各エクスポージャーの被害率を求める。  
今回は簡易的に、既存の被害関数(US Army Corps of Engineers)を利用した。

エクスポージャー	再現期間200年ハザードマップによる浸水深	エクスポージャー	再現期間200年ハザードマップによる被害率
1	2 m	1	49.3%
2	2.25 m	2	51.7%
3	0.4 m	3	31.6%
4	0.1 m	4	0.0%
5	0.8 m	5	36.3%
6	0.8 m	6	36.3%
7	0 m	7	0.0%
8	0 m	8	0.0%
9	0.2 m	9	27.1%
10	1 m	10	37.8%

全体被害率の推定値  
**19.75%**

MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 41

この関係式をもって、全体の被害率を推定しております。左側がエクスポージャー1から10まで。これは、先ほど表示した黄色の点になるのですが、それぞれの点における再現期間200年のハザードマップを重ねたときの浸水深を表示しております。そこから浸水深と被害率の関係式を利用することによって、被害率を推定しております。

各エクスポージャーの被害率が出ているのですが、最終的に、全体のエクスポージャーの金額に対して被害額が幾らになるのかということ进行計算して、被害率を推定したところ、200年の被害による被害

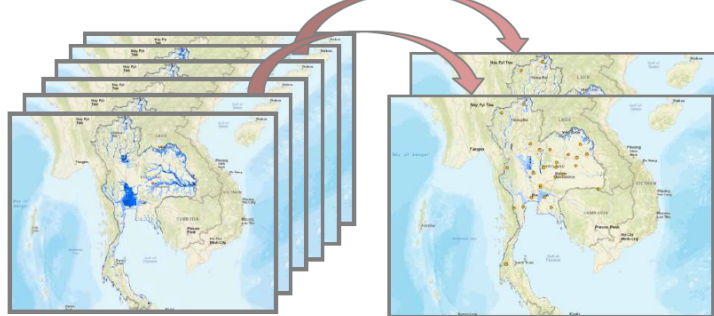


率は 19.75%と、約 2 割の被害が発生するという結果となりました。

## 被害推定結果の比較 ②シミュレーション

② 今回の手法：地域相関を考慮したシミュレーションによる被害率

全ての仮想洪水イベントにエクスポージャーをプロット。①と同様の手順で、各イベントの被害率を算出する。



MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 42

次は、今回の手法、地域相関を考慮したシミュレーションによる被害率についての確認をしております。今回、1万種類の仮想洪水イベントを作成いたしました。それらすべてのイベントについてエクスポージャーをプロットしております。エクスポージャーをプロットした後は、1と同様の手法で浸水深を求め、同じ被害関数を用いて浸水深と被害率の関係性から被害率を算出しております。その作業を1万回繰り返しております。

## 被害推定結果の比較 ②シミュレーション

② 今回の手法：地域相関を考慮したシミュレーションによる被害率

1万種類の被害率から99.5%点を取得することで、年1回仮想洪水イベントが発生すると仮定した上での、再現期間200年に該当する被害率が確認できる。

仮想洪水イベント	全体被害率	非超過確率	再現期間(年)	全体被害率
Event 1	11.30%	0.9999	10000	15.22%
Event 2	0.20%	0.999	1000	14.76%
Event 3	3.00%	0.998	500	14.54%
Event 4	6.90%	0.997	333	14.42%
Event 5	3.50%	0.996	250	14.27%
Event 6	14.76%	0.995	200	<b>14.11%</b>
Event 7	4.50%	0.994	167	14.02%
Event 8	1.00%	0.993	143	14.00%
Event 9	1.50%	0.992	125	13.91%
Event 10	13.91%	0.991	111	13.85%
...				

降順並び替え

全体被害率の推定値

14.11%

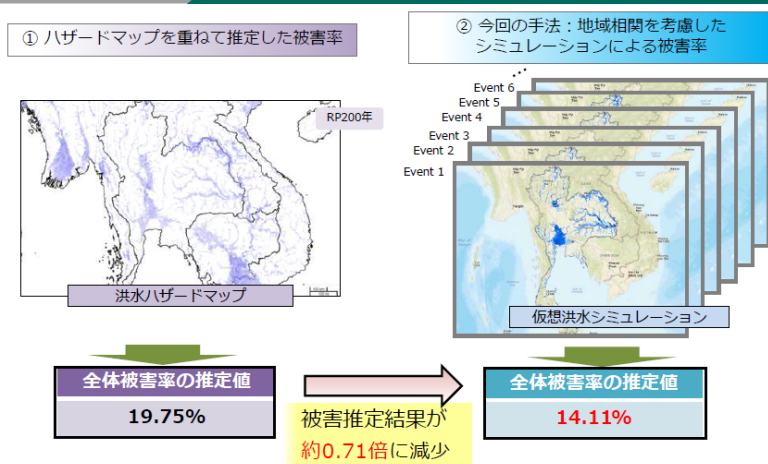
MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 43

1万種類の被害率から99.5%点を取得することで、再現期間200年に該当する被害率を確認している、とありますが、左側に今度はエクスポージャーごとではなくて、イベントごとの全体の被害率を記載しております。この1イベントが、先ほどハザードマップを重ねる手法で確認した全体の被害率と、一致すると考えていただければと思います。あるイベントで全体の被害率が11%のものもあれば、次のイベントでは全体があまり浸水しないというイベントもありますので、0.2%になっている。この作業を1万種類のイベントに対して行っていきます。

1万種類のイベントがそれぞれの被害率を持っていると、全体を並べ替えたりすることによって、その1万種類のうち、上位、例えば、99.5パーセンタイル点が再現期間200年の値に該当すると思いますので、それは複数シナリオからパーセンタイル点を取ってくることによって、全体の被害率を推定しております。この作業を行った結果、全体被害率の推定値が14.11%となっております。

## 被害推定結果の比較の結果



MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 44

これらを比較しますと、ハザードマップを単純に重ねて被害率を推定した場合、19.75%の推定値に対して、今回の手法、地域相関を考慮してシミュレーションを行って、再現期間 200 年の被害を推定した場合の手法の、被害推定結果の差が約 0.71 倍に減少していることが分かりました。なので、ハザードマップを重ねるという手法に対して、多少の過大な評価性があるのではないかと考えております。

## 8 まとめ

MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 45



## まとめ

- コピュラを利用して洪水リスクの地域的な相関関係を考慮することで、限られた数のハザードマップから複数種類の仮想洪水イベントを作成するモンテカルロシミュレーションを実施した。
- 本研究のリスク評価手法を、保険会社のエクスポージャーの一部に適用した。今回の手法による再現期間200年に相当する被害率が、ハザードマップをエクスポージャーに重ねることで直接推定した被害率に比べてどの程度変動するが確認したところ、約7割に減少する結果となった。
- 安全側に立ったリスク評価によって業務健全性を確保することは重要であるが、例えば今回の手法のように災害の地域的な相関関係を考慮する等して評価手法の精緻化を図っていくことは重要であると考えている。

MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 46

最後にまとめですけれども、コピュラを利用して洪水リスクの地域的な相関関係を考慮することで、限られた数の、今回6種類を使用しましたが、6種類のハザードマップから複数種類の仮想洪水イベントを作成するような、相関つきの乱数を作成するモンテカルロ・シミュレーションを実施しました。これによって1万種類の、1万に限らないですけれども、今回は1万種類の仮想的な洪水イベントを作成しました。

中段のところ、今回の研究のリスク評価手法をエクスポージャーの一部に実際に適用した場合に、再現期間200年に相当する被害率がどのくらい、単純にハザードマップを重ねるリスク評価手法と変動するのかということを確認したところ、もちろんエクスポージャー、被害関数によると思うのですが、約7割に減少するような結果となりました。

最後、結びですが、安全側に立ったリスク評価は重要であると考えてる一方で、災害の、例えば、地域的な相関を考慮するなどして、リスク評価手法の精緻化を図っていくことは重要であると考えますという内容でございます。

ご清聴いただきありがとうございました。

MS&AD

MS&ADインシュアランスグループ  
株式会社インターリスク総研

MS&AD

© InterRisk Research Institute & Consulting, Inc. | 47

少し早いのですが、発表の内容については以上になります。ご清聴いただき、ありがとうございました。

司会 中西さん、ありがとうございました。お時間がありますので、質問をお受けしたいと思います。質問がおありの方は挙手をお願いいたします。

質問者A 三井ダイレクトの伊藤と申します。

二つお伺いしたのですけれども、地域相関を考えるときに、行政区単位でやっていますね。流域単位と、先ほど言っていた。確かに、流域単位の方がいいに決まっているのですね。行政単位は、別に雨の降り方や洪水の起こり方に関係ないので。なぜ、そちらを選んだのか。何かデータの制約があったのか。最初から流域単位でやればいいのかということが素朴な疑問。

もう一つは、降雨データの地域相関を見るときに、降雨データといっても、12時間や24時間、3日間など、日本だと3日か2日ぐらいでいいのだろうけれども、タイのようなところだと1か月ぐらいたってから洪水が起きることもあるので、その辺を、ここではどのようなデータでやったのか。その2点を教えていただけますか。

中西 行政区単位で行ったのは、集水域ごとのデータを本来は使うべきだったという認識の下、集水域のデータをどのように作るかというところがありまして、そこについてもう少し集水域のデータを整備したうえで始めるべきだったと思っております。

今回は地域的な、ある程度の相関関係を考えるという意味で、行政区単位を利用しましたが、おっしゃるとおり、初めから集水域を使って行った方がよかったと認識しております。

もう一つが、降雨量のデータについてですけれども、今回は日データを使っておりますが、理想的には、例えば、年間の最大の降雨量の相関を取ってきたり、年最大のリスク評価をするのであれば、それに合わせて年最大の降雨量を取ってくる方がいいのかなど。また、おっしゃっていただいたとおり、3日間や4日間など、一定期間を区切って、3日間降雨量、1週間降雨量の合計値などの相関を取ることがいいと思っております。

今回は、まさにおっしゃるとおりですけれども、データを入手できる期間が少なかったこともございまして、逆に、2008年から2016年という短い期間で実施したということと、なかなかすべての期間で雨が降っているわけではなかったので、得られるデータが非常に限定的だったということから、細かくデータを区切って使用しているということになっております。

本来的には、おっしゃるとおり、一つの降雨イベントの定義が国によって異なる。タイですと、おっしゃっていただいたとおり、長めに降雨量の期間を区切って、1か月降雨量で相関を取ったり、他の国であれば、その期間を変えて、例えば3日間4日間の合計雨量による相関関係を取ってきたりということをするのが、理想的であると思っております。

質問者A ありがとうございます。

司会 では、他の方でご質問のある方はいらっしゃいますでしょうか。はい、お願いします。

質問者B J A共済連の山田と申します。

理解が十分ではないところがあるのですけれども、今の質問の続きですけれども、長い期間を取ってしまうと、平均でならされてしまう関係で、表現したマップの1イベントごとのものが、実際の物理的な雨の降り方としては起こりえないような現象が再現されてしまうのではないかと思ったのですけれども、そのようなことはないでしょうか。

中西 取得するデータの期間の長さということですか。

質問者B 長くしてしまうと、ここで降っているときに、降っていないという地域の状況が、結構ならされてしまうのではないかと思うのです。

中西 今、題材にしたタイでは特にそうではあるのですが、本来的には参考として上げさせていただいた河川流量のデータを基に相関を取る。河川流量のデータですと、その地点の河川流量が高くなると、その地点で洪水が発生するので、一番理想的であると思っております

おっしゃっていただいたとおり、雨が降って、そこから流れて、恐らく、多少なりとも下流で洪水が発生することになると思いますので、そこは今回、仮定的に降雨量を使うことによるデメリットと言ってしまうところがございます。本来であれば、入手可能性を考えて降雨量を使ったのですが、そもそも河川の水の量から相関を取るべきものではないかと思っております。

司会 その他の方、ご質問はよろしいでしょうか。

質問者C 三井住友海上の篠です。

三つほどございまして、一つめが、GEVを用いて補間していただいたところなのですが、これは、補間した部分以外のところは実際の国連の実績値を用いているのか、それとも、もう補間した関数に全信頼を置いて、全部GEVの推定値ベースでシミュレーションを行ったのかというところを、教えていただきたいと思いました。それが一つめでございます。

もう一つが、地域相関は、例えば、タイなどだと、隣の国にも隣接していて、その辺の相関なども考えることは難しいのですか。本当はそちらの方が、保守的なリスク量が見積もれるのかなと思いました。

あともう一つは、タイの洪水は、2011年に実際に起きた被害率はどのぐらいだったのかということを知りたいということが三つめです。

以上です。

中西 ありがとうございます。まず一つめですが、分布を用いて補間したものに対して観測データは使っていないです。そのままのグラフの値を採用しています。観測データをそのまま利用した方がいいという考え方はもちろんあるのですが、

今回、再現期間 1,000 年の浸水深までを用意しましたが、その後をどうするかということもあって、外挿になってくると思うので、そのようなところをきちんと同じ基準にのっとって使用するといいですか、そのような仮定の下でグラフに基づいて浸水深を取ってきております。

あとは、どのように使うべきか。浸水深の情報を持っているところだけ、グラフを使わないで、それを使うということが、他のところをグラフを使うと、なかなか不連続になって難しいのではということがあって、グラフの値をそのまま採用しております。

もう一つが、他の国との相関を考えた方がいいという話。これも、最初の集水域で地域相関を取ってきた方がいいという内容と同じなのかなと思っております。例えば、国で区切るのではなくて、東南アジアの、できれば全域が望ましいと思うのですが、例えば、地形で分けるなどして、地形の特徴で地域

を区分していく。それは集水域であってもそうなのですけれども、評価対象とする地域についても、地形を考慮したうえで考えていった方がいいのではないかと考えております。

なので、タイを包含するような地域において地形を考慮したシミュレーションを行って、その中からタイで発生する被害を取ってくるという作業が望ましいのではないかと考えております。

最後のところは何でしたか。実際の被害率。すみません。今、ぱっとすぐには正確な数値を答えられなくて、申し訳ないです。すみません。

質問者D 栗山と申します。

あまりよく分かっていなくて、非常に素朴な質問です。冒頭のところで、ですから、この後のプレゼンの後に質問した方がよろしいのかもしれないのですけれども、今回のプレゼンは統計的手法で、この場合は、保険データではなくて外部のデータを基にリスクモデルを作られた。この後、工学的リスクモデルということで、もっと、ありえないと言ってはいけないのだけれども、実際に観測できていないようなものも含めて、リスクモデルで同じような、保険金が幾らぐらいになるかというところまで持っていくモデルの説明があるということだと、基本的な考え方としては、統計的リスクモデルではじかれた額よりも、工学的リスクモデルではじいた額の方が大きくなるということになるのか。

あと、その折衷案のようなモデルが考えられないのかという、非常に素朴な質問で申し訳ありません。

中西 ありがとうございます。結果が、どちらが大きくなるということは、モデルの種類によって違うということはないと思っております。

次のセッションの話に、確かになってきてしまうと思うのですけれども、工学的リスクモデルで、雨を実際に降らせて、集水域を、物理的に数値シミュレーションを行って浸水深を出してという作業をしているのですけれども、例えば、最初の雨を降らすところで、再現期間 200 年に発生するような雨を降らすことによって、とても再現期間の長いところの被害が、例えば再現ができる。雨の量をどうするかによって決めたり。そのようなことで、一概に、工学的に、物理的な事象を表現するとはいっても、その中である程度、過大な現象といえますか、大きい現象や小さい現象を考えたいので、物理的な事象を再現しておりますので、そのような意味では、そこをどう考えるかによって、結果が大きくなるか、小さくなるかということが、変わってくるという内容でございます。

あと、何でしたか。工学的なモデルの話と……。折衷案の話。失礼しました。

折衷案という話ですけれども、本来的には、今回、統計的リスクモデルの話をさせていただきましたが、工学的リスクモデルについては、物理的な事象を再現しているという意味で、実際の事象を反映したときに再現性が高いのではないかと考えております。統計的なリスクモデルの作成を実施している趣旨としては、工学的なリスクモデルを作るには相当な計算量であったり。例えば、地震ですと、地盤名の情報や、地震の過去の確率などのさまざまな物理的な要素を勘案しなければいけない。洪水ですと、浸水シミュレーションが必要になってくるので、そのような難しい計算を行わずに、統計的に将来を予測するという意味で、少し簡易的に作業ができるというメリットがあります。

なので、間を取るというよりは、工学的リスクモデルが作成可能なほど、データが集まっていたり、知見が集まっていたりするところについては、工学的リスクモデルを使用して評価することがいいのではないかと。もちろん、どちらを使うかということは、地域によってあると思うのですけれども、そのような使い方の違いになってくるかと思っております。

司会 他に質問はございませんでしょうか。

質問者E AIRの藤村と申します。

今回の基本的な質問といいますか、もう説明されているかもしれないのですが、元々ハザードマップが各再現期間に与えられている状態で、それをそのまま使わないで、あえて相関を考えたり、イベントという定義を用いてやったということは、ハザードマップ 200 年をそのまま重ね合わせると、必ず過大になるということがスタート地点なのか。どのようなところがそのままやることと違うかについて、簡単に説明いただければと思います。

中西 おっしゃるとおりだと考えておまして、そもそもこのハザードマップがあって、建物の被害率がどのくらいになるのかと考えるときに、重ね合わせて、建物の被害率を計算するというのを、幾つもの、例えば、引き受けの対象の契約が増えるごとにどんどんやっていくのかなと思うのですが、そうすると、全部やって集まった後に、おっしゃったとおりなのですが、すべての地域に対して 200 年の被害が発生する場合を想定しているの、ポートフォリオ全体としては分散効果が図れていないと考えられるということで、過大な評価をしているのではないかという背景がスタート地点になっております。

質問者E 結果としては、こちらの今回やられた方が現実に近くて、普通にハザードマップをそのまま使うよりは、必ずロス推定としては小さくなるということだと思いますか。

中西 必ずなると思います。相関の取り方によっては、全部が 200 年になるということがデータによってはあるかもしれないです。元のデータがそのような偏りを持っていることは非常に少ないと思うので、そのような意味で、少なくなるのではないかと考えております。

質問者E ありがとうございます。

司会 他にございますか。

質問者F 東京海上ホールディングスの今富です。

相関に関して質問させていただきたいのですが、さまざまなコピュラを使い分けるということをおっしゃっていたのですが、実際は何のコピュラを使ったのか。あと、降雨量を使ってコピュラをパラメータ推定したと思うのですが、どのような推定をされたのか、お聞かせいただければと思います。

中西 ここは少しプログラム任せのようなところはあるのですが、コピュラの種類については、R を用いて、A I C が最も小さくなるという基準で選定しております。

実際にどのようなコピュラを用いたかについては、数がとても多いので全部を記載しているわけではなくはありますが、このペアごとに、左側に記載されている 1 行 1 行が、それぞれのペアに使ったコピュラを表していきまして、なので、全部で 12、11、10、9 と、それぞれ減っていくと思うのですが、それだけの数になるので、全部はご説明できないのですが、基本的には A I C が小さくなる最適なコピュ

ラをプログラムによって求めている。同時に、これもプログラムによってパラメータを決定しているのですけれども、最適化をして決定しているという内容でございます。

質問者F 基本的には、降雨量のデータはかなりデータ量があるので、このような手法が使えるということ。どれぐらいの期間のデータが使われたのですか。

中西 データの期間は、2008 から 2016 年の期間のデータを使っているのですけれども、相関を取るためのデータとしては、本来的にはもっと必要だと思っております、もう少し長い期間のデータがあれば、例えば、最大値どうしの相関を取ってくることができるかなと思っております。

今回、すべての降雨量のデータ。すべてといいますか、すべての期間の降雨量のデータから相関関係を取ってきているのですけれども、例えば、言ってしまうと、再現期間 200 年の被害が発生するときの全地域の相関関係が、果たしてふだんの降雨量や洪水、河川流量の相関関係と一致するのかということも考えなければならぬ。要するに、通常時の洪水のリスクと、テールリスクの洪水のリスクの相関が一緒かどうかということも考えなければいけないと思いますので、データが長ければ長いほど、よりそのようなテールの部分についても評価が可能になってくるのではないかと思っております。

質問者F ありがとうございます。

司会 質問は尽きませんが、お時間となりましたので、本セッションを終了させていただきます。中西さん、ありがとうございます。皆様、盛大な拍手をお願いいたします。

最後に、大会委員の方から事務連絡がございますので、今しばらくお座りになってお待ちください。

大会委員 ここで 15 分間の休憩とさせていただきます。次のセッションは 15 時 15 分から開始いたしますので、開始 2 分前にはご参集いただきますようお願いいたします。なお、正会員の方は CPD カードを使った出席確認を行っています。午前、午後、それぞれでカードタッチをお願いいたします。

それでは、休憩に入らせていただきます。