

インドサイクロンに対するリスクスワップの基礎的な検討

A Basic Study on Swap Transaction Analysis for Indian Cyclone Risk

○渡部弘之¹、鈴木弘二¹、矢代晴実²

Hiroyuki WATABE, Koji SUZUKI, Harumi YASHIRO

¹アジア防災センター

Asian Disaster Reduction Center

²東京海上日動リスクコンサルティング(株) 開発グループ

Tokio Marine & Nichido Risk Consulting Co., Ltd.

Recently, various alternative risk transfer transactions have been issued to diversify the natural catastrophic risk retained by property & casualty insurers to the financial market in stead of traditional reinsurance market. This study is focused on the possibility of risk swap transaction for cyclone prone area between two cities in India. We analyzed historical cyclone data of Bengal Bay and Arabian Sea to set the trigger event for both cities. The effect of swap transaction was depended on the size of swap amount.

Keywords: Swap, Alternative Risk Transfer, Cyclone

1. はじめに

インドでのサイクロンによる被害は、古くは 1847 年のベンガル州にて 75000 名余りの死傷者を、最近では 1998 年のグジャラートにて 1261 名の死傷者（約 US\$400M の損害）、1999 年にはオリッサ州にて 8913 名の死傷者を出している。主な被災地域は、ベンガル湾にて発生したサイクロンによりインド東海岸側、またアラビア海にて発生したサイクロンによりインド西海岸側が被害を受ける。発生するトロピカルストーム(TS)のうちサイクロンにまで発達するものは、ベンガル湾の年平均 3 個に対し、アラビア海では 2 個程度¹となっており、サイクロンにまで発達するものは多くはなく、低頻度かつ高損害をもたらす事象であると言える。

地域におけるリスクの変動をカバーする手法として、天候デリバティブ契約により企業間にて天候リスクスワップ²が盛んに行われている。一方、自然災害による損害に関しては一部の損害保険会社間にて日米間の地震リスクスワップ³の実施例が見受けられるものの未だ一般的ではない。サイクロンによる被害は一自治体にとっては低頻度かつ高損害をもたらす所謂 Catastrophic な事象であることから、防災予算の平準化を図るためにサイクロンリスクの影響を強く受ける自治体間にてリスク交換⁴を行うメリットは大きい。本検討では、インド国内において地域的にサイクロンによる被害の相関をほぼ無視できる地域として、東部および西部の自治体を対象とし、これらの地域がサイクロンによって影響を受けた場合、リスクスワップによるリスク平準化効果について検討することとした。

2. リスクスワップについて

基本的な仕組みを図 1 に示す。図の左上、左下は、当該スワップの参加者 (A、B 自治体) の通常時のサイクロンによる損害額を示している。A 自治体では、1 年目に 20 の、3 年目に 40 の損害が発生している。B 自治体では、2、4 年目にそれぞれ 40、20 の損害が発生している。スワップ契約がなければ A、B 自治体の 5 年間の損害合計は 60 であり、変動係数 (=標準偏差/平均値 COV:Coefficient of Variance) は、いずれも 150%である。

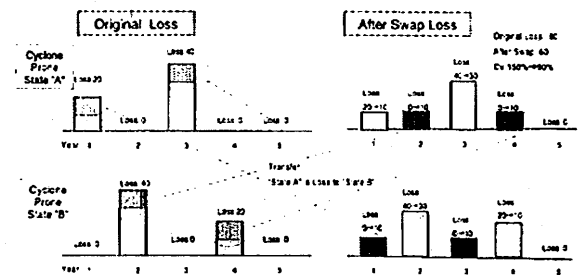


図 1. 2つの自治体間におけるスワップのイメージ図

一方、A、B 間にて、サイクロンによる被害が発生した場合、相手方に対して 10 の補填を行うスワップ契約を取り交わすとする。図の右上、右下のように、A の 1 年目の損害は、B からの補填分である 10 を受領することで、A の 1 年目の収支は、10(=20-10)となる。一方、2 年目には、B で 40 の損害が発生するが、A より B に 10

が補填されることから、2年目のBの収支は $30(=40-10)$ となる。本例にて5年間の収支は、スワップ契約導入前後においても相互の支払い合計額には変わらないが、変動係数は、スワップ導入により低減し、いずれの自治体においても90%となり、毎年の損害の平準化が計られることが理解できる。また支払いの最大値もスワップにより低減される。

3. トリガーの設定

リスクスワップの基本概念は、等価なリスク量を交換することである。完全に等価なリスクとはスワップを行うカウンターパート同士のリスクカーブ、すなわち発生頻度と被害額との確率密度関数が等価であることである。理想的な完全等価を形成することは極めて困難である。ここでは、リスク等価をイベントの発生確率と被害額との積、すなわち期待値が等しいものとする。まず、イベントの発生確率であるが、例えば一定地域で年間に発生するサイクロン個数や一定地域を通過する個数は客観的に把握可能なデータである。ここでは両自治体周辺を通過するサイクロン個数を指標とすることとした。すなわち、両自治体を代表する都市を中心とした半径300kmの円を設定し、この円内をサイクロンが通過した場合、スワップのカウンターパートとなる自治体より一定の金額を受け取るというものである。なお、このようなエリア方式によるデリバティブ取引としては台風デリバティブが商品化⁵されている。一方、被害額については様々な被害の定義や被害額算定者の主観等も左右し、また被害額算定までの期間が長期化することもあり精度の確保は容易ではない。サイクロンに関する両自治体の被害額データが十分でないことから、便宜的にEM-Dat⁶によるサイクロン被害データを用いた。図2に設定した円を図示する。

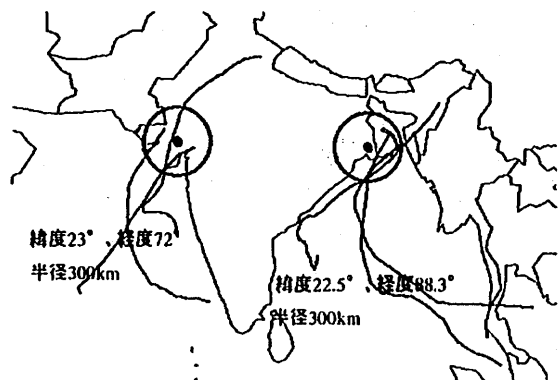


図2 設定した円と通過サイクロン数

4. 設定円のサイクロン通過個数

本検討では歴史サイクロンデータとしてJTWCのBest Track Data⁷を用いた。信頼できうる統計期間28年間(1977~2004年)にベンガル湾にて100、アラビア海にて41のトロピカルストーム(TS)が発生しているが、設定円を通過したTSは、東部では8個、西部では9個、そのうちサイクロンは、2自治体共に3個が設定円内を通過しており、年間平均通過個数は0.3個/年と僅かである(図2)。

東部では、ベンガル湾で発生したTSが偏西風の影響を受けつつ北東方向に進路をとりながら設定円の南側より北側に抜ける進路にサイクロンが通過しているが、稀

にベンガル湾の東部で発生したTSが偏西風の影響を受けずに西進し、設定円内を通過するケースも見られる。また、西部では、主にアラビア海にて発生したTSが当初、わずかに東へ進行するものの、その後、偏西風の影響を受けて転向し、北東方向へ進路を変え設定円の南側より北側へ設定円内を通過している。なお、稀にベンガル湾南部で発生したTSが一旦、上陸した後、再びアラビア海へ抜け、北上し再上陸するケースも見られる。しかしながら、2自治体間の距離は十分に離れており1イベントでの同時罹災は想定しがたい(図3)

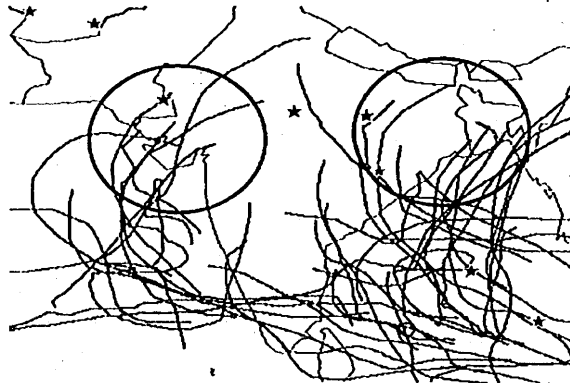


図3. TS(含むサイクロン)進路経路の例

なお、設定円内の通過個数が設定円の位置による依存性を空間的に把握するために、インド全域をほぼカバーするように約100kmメッシュのグリッドを作成し、各グリッドを通過した28年間のサイクロン数を求めた。アラビア海に対してベンガル湾の通過個数が多いことが理解できるが、2自治体共に通過個数3個程度のメッシュに属しており、仮に100km程度、設定円の中心が変動しても通過個数による影響は生じないことが確認できた(図4)。

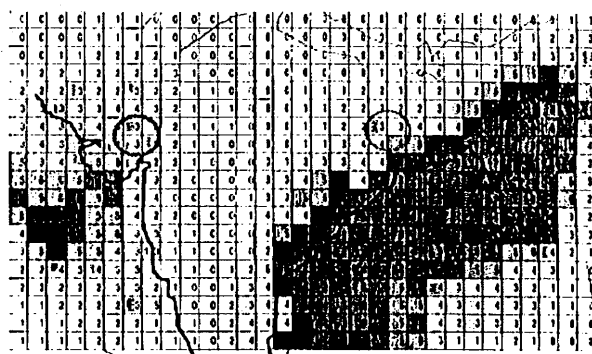


図4 100kmメッシュのサイクロン通過個数

5. 自治体間の相関関係

リスクスワップが有効に機能するためには、2自治体間におけるサイクロンによる被害に関して年毎や同一サイクロンによる災害での相関があるか否かを明確にしておく必要がある。ここでは以下の相関関係を調べた。

- ① アラビア海、ベンガル湾で発生するTS個数の相関
- ② 設定円を通過したTS個数の相関

5-1. アラビア海、ベンガル湾でのTS個数の相関

過去の統計データによるとベンガル湾での発生個数3個に対し、アラビア海では2個程度であり、ベンガル湾での発生個数の方が多くなっている。2つの海域間の年

単位での相関関係を調べたところ、相関係数は極めて低く相関関係は無視できる。(図5)

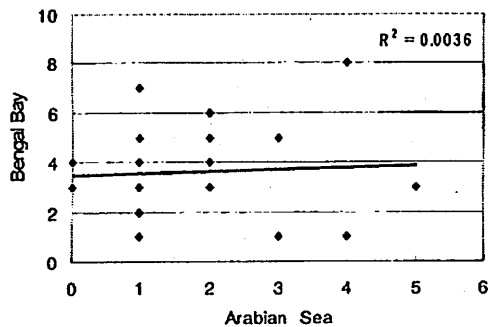


図5. 発生海域間での相関関係

5-2. 設定円内通過個数における相関

サイクロンの取りうる進路での相関の影響を考慮するため、2つの設定円内を通過するサイクロン個数の相関についても調べておく必要がある。通過個数も少ないものの相関関係は見られない。(図6)

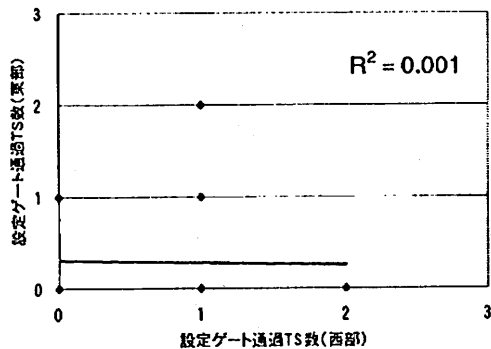


図6. 設定円通過個数の相関

6. シミュレーション

6-1. シミュレーションのフロー

設定した円内の通過個数が、東西の設定円のいずれにおいてもほぼ等しいことから、設定した円内を通過したサイクロンをトリガーとしてスワップ契約を行うものとし、スワップによるリスク分散効果をシミュレーションにより調べることにした。

シミュレーションの手順は、設定した円内を通過するサイクロンを年間0.3個の頻度で生成させ、生成したサイクロンによる被害額を個々のサイクロンイベントごとにシミュレートする方法である。

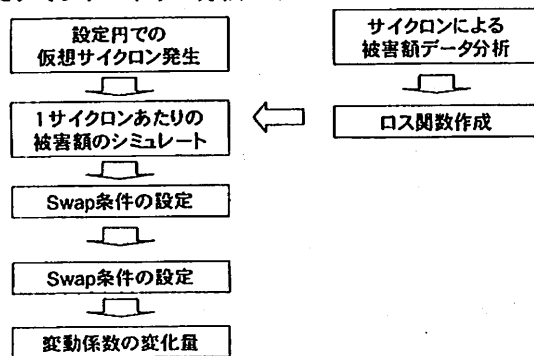


図7. シミュレーションフロー

6-2. イベントのシミュレート

設定円における過去の年間平均通過個数を基に、東西の設定円内を通過するサイクロンをシミュレーションにより発生させた。設定円間で発生するサイクロン数には時系列的な相関はなく、通過個数はPoisson過程に従うものと仮定した。

また、1イベント毎の推定被害額については、本来であれば評価対象とする財物の所在地での最大瞬間風速値を予測した上で、それに相応する被害額を算出する手法⁸が一般的であるが、インドにおける風災に関するFragilityは存在せず、ここでは便宜的に事故災害データベース⁶を基に1サイクロンイベントあたりの被害額のロス関数を設定することとした。なお、使用した被害額データは、1966~2003年までの25事例である。これらを分析したところ被害額の分布は対数正規分布に比較的良く適合することが確認できた(図8)。

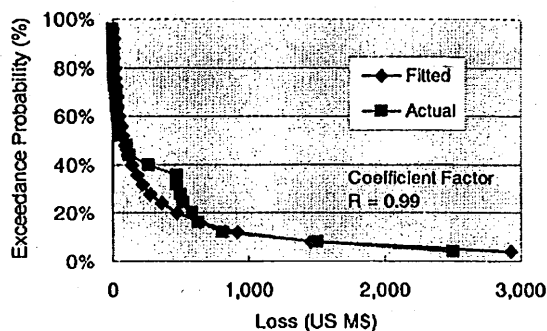


図8 被害額のロス関数

以上を基に東西の2自治体に対してモンテカルロ・シミュレーションを用い、各自治体毎に10000回のサイクロンによる被害イベントを生成させることにした。イベントの例を図示する(図9)。

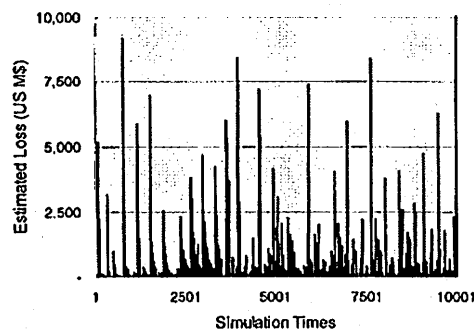


図9 イベントリストの例

なお、2自治体に対して適用したロス関数は同一であるが、シミュレーションにおける乱数セットの違いにより、最大値等は両自治体で全く同一の値とはなっていない。

6-3. スワップ条件の変化に伴う変動係数の変化

得られたイベントリストに対して、スワップ条件を加味し、リスクの平準化について調べることにした。スワップ条件は以下のとおりとした。

- ① スワップ金額を定める。(US \$0~2000M)
- ② 2自治体共に同一年に同時に罹災していた場合には、スワップは行わない。

③ スワップ金額未満のイベント発生では、スワップは行わない。

①～③の条件のもとに変動係数の変化を検討した(図10)。スワップ金額増加に従い、変動係数(COV)は低下する傾向が見られるが、スワップ金額が一定値を超えると上昇に転じている。スワップ契約を行う上で、設定するスワップ金額の大きさによりスワップの効果を最適にする金額があることがわかる。また、スワップ金額を大きくすると、スワップ発動回数が減少しスワップ効果は現われにくくなる。また、スワップ金額を小さくすれば、発動回数が増加する一方、スワップ金額が小さいことからスワップの影響も小さくなる。

一方、スワップの効果を測定するにあたっては、COV算出による平準化も一要素ではあるものの、突出した巨額な損害を軽減する効果の測定も必要な要素である。図11にはスワップ金額を変化させた場合の最大値の変化を示した。2自治体におけるシミュレーション上の最大値が異なっているが、スワップ金額が増大するにつれて最大値は減少し、スワップ契約で約定したカウンターパート側の負担額が被災自治体側の負担額を上回るポイントから上昇に転じることが判る。

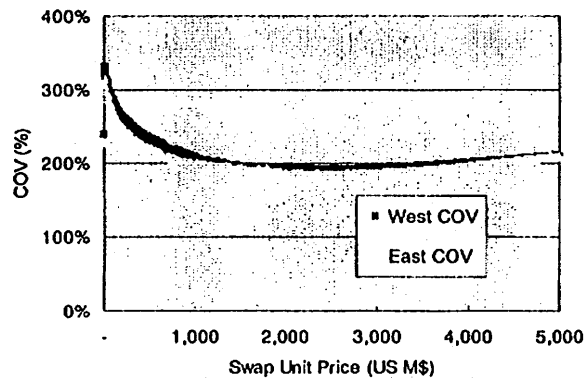


図10 COVの変化

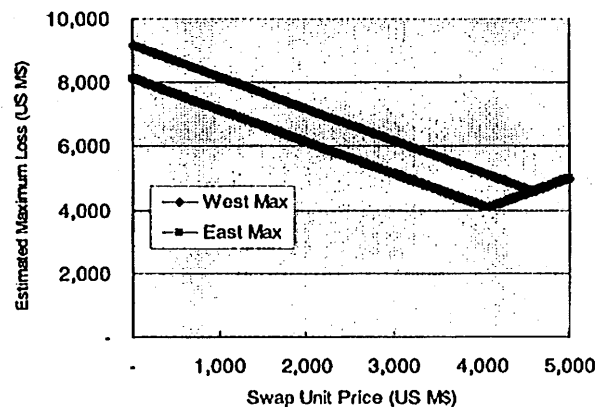


図11 最大損害額の変化

次にスワップの効果をサイクロンによる被害の発生頻度と予想被害額とをリスクカーブとして示す(図12)。この例ではスワップ金額をUS \$1,000Mとして設定していることから、US \$1,000Mを超えたポイントからスワップの効果が確認でき、US \$1,000M超の被害の発生確率を低減させていることが判る。

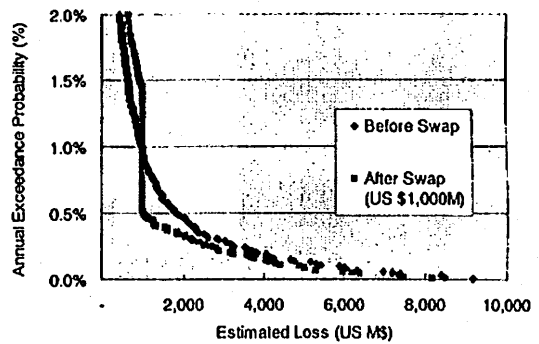


図12 スワップ前後のリスクカーブの変化

7. まとめ

インドの東西2自治体に設定した半径300kmの円内をサイクロンが通過した場合をトリガーとし、カウンターパートに対して約定金額を支払うスワップ契約の可能性を検討した。さらに、予め設定した設定円内を通過したサイクロン発生頻度および1サイクロン当たりのロス関数を設定し、モンテカルロシミュレーションにより2自治体間のリスク量を算出し、スワップ金額の増減によるスワップ効果を検証した。

その結果、スワップの効果はリスクの平準化で測定可能だが、スワップ金額の増大と共にスワップ効果は高まるが、スワップ金額が一定金額を超えるとスワップ回数自体も減少し、スワップ効果も減少することがわかった。スワップ効果を高めるためには、より多くの自治体を参加させスワップ回数を増大することで平準化の促進が可能であることが明らかになった。

しかし、ここでは様々な仮定を設定しているが、実務においては、サイクロン強度データ、2自治体のExposureを分析し、実際の損害額とスワップ契約により受領する金額との差、すなわちベースリスクの分析⁹⁾も必要である。

参考資料

- 1) 2004 Annual Cyclone Report, U.S. Naval Pacific Meteorology and Oceanography Center/ Joint Typhoon Warning Center, Pearl Harbor, Hawaii
- 2) 例えば、東京電力、東京ガスとの天候デリバティブ。夏期の気温リスク交換契約の締結について 2001年7月 <http://www.tepco.co.jp/cc/press/01071001-j.html>
- 3) 例えば、東京海上、StateFarm社地震リスクスワップ。 <http://www.artemis.bm/html/dealdir/index2.htm>
- 4) 危機管理と保険制度に関する自治体に向けての3の提案(保険制度と危機管理研究特別委員会報告2001.3)
- 5) 東京海上日動火災保険「台風デリバティブ」 <http://www.tokiomarine-nichido.co.jp/j0412/html/art/taifu.pdf>
- 6) EM-DAT: <http://www.em-dat.net/>
- 7) Joint Typhoon Warning Center ATRC Archives, <http://www.npmoc.navy.mil/jtwc.html>
- 8) H.Watabe and M.Matsumoto, "An Application of the Typhoon Simulation Model to the Insurance Industry" h Asia Pacific Conference of Wind Engineering (APCWE)
- 9) 西川智, 福島誠一郎, 矢代晴実, 事業継続のためのリスクファイン手法の提案, 日本建築学会環境系論文集 NO.607 P101-106 2006年9月