

サイクロンリスクに対するポートフォリオ群の損失の平均と標準偏差の関係

Relation between Expected Loss and Standard Deviation of Portfolio to be Exposed to Cyclone Risk

○渡部 弘之¹, 矢代 晴実¹, 福島 誠一郎²
Hiroyuki WATABE¹, Harumi YASHIRO¹ and Sei'ichiro FUKUSHIMA²

¹防衛大学校 建設環境工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, National Defense Academy of Japan

²(株)リスク工学研究所

RKK Consulting Co.,Ltd.

As for the studying risk financing for natural disaster, it is necessary to evaluate characteristics of given portfolio composed by building assets using average-standard deviation diagram as well as financial market. By the previous developed cyclone wind loss modeling for Gujarat state in India, and the diagram was obtained by cyclone wind loss for 10000 randomly generated portfolio composed by building assets. Using the diagram, risk taker understands their current portfolio location on the diagram and the possibility to improve their portfolio. And the portfolio index was proposed to easily understand the characteristics of portfolio. The portfolio having high portfolio index tends to locate near the upper boundary of plots on the diagram.

Keywords : Risk Finance, Portfolio, Average-Standard Deviation Diagram, Portfolio Index, Cyclone Risk, Natural Disaster

1. はじめに

株式投資においては複数の株式等を組み合わせてリスク、すなわち偏差を抑えつつ最大限のリターンを得るために、ポートフォリオ理論が研究されているが、自然災害におけるリスクファイナンスにおいても、将来予想される損失を対象として同様の考え方を適用することが可能である。金融と自然災害リスクにおけるポートフォリオの差異は、前者は利益と損失の双方を包含したリターン（期待値）とリスク（標準偏差）との関係で示されるものであるが、後者においては、常に損失となる事象を対象としており、起こり得ることが想定される損失を対象としたものである。自然災害リスクを引き受ける損害保険会社等の立場では、リターンである期待値は将来の支払いに備えて保険加入者から徴収した収入保険料の一部（危険負担分）に相当し、リスクは損失のばらつき（標準偏差）であると整理することができる。

株式投資におけるポートフォリオを考える場合、目標とする期待リターンを得るために、複数の銘柄を組み合わせた最適なポートフォリオの構築を試みることになる。しかしながら組み合わせによっては同じ期待リターンとなっても、その期待リターンに対するばらつきが異なる組み合わせもあり、組み合わせ次第で、ばらつきを小さく、期待リターンを安定的なものとすることが出来る。一方、組み合わせにより、ある程度のリスク（ばらつき）を覚悟しつつ高い期待リターンを得ようとすることも可能である。同様に自然災害のリスクファイナンスでも、損害保険会社等はポートフォリオの構成要素の組み合わせを工夫することで、損失期待値を大きくしつつ（収入保険料を増やしつつ），それを実現させうるためのばらつきを最小とするということや、ある程度のリスク（ば

らつき）を覚悟しつつ高い損失期待値（収入保険料）を得ようとしても可能である。

本研究では、リスクティーカー、すなわち損害保険会社の立場で、サイクロンにより被害を受ける可能性のある保険契約のポートフォリオを想定し、保険引き受けの対象となるサイト数や資産価格（建物価額）等の一定条件下で実現しうる損失額の平均と標準偏差の範囲を把握し、より良いポートフォリオを見出す方法を提案する。

2. 自然災害リスク・ポートフォリオにおける平均と標準偏差の考え方

自然災害リスクのポートフォリオへの資産配分により、ポートフォリオの損失の平均とばらつき（ここでは標準偏差を用いる）は、図1に示すように平均－標準偏差空間に分布することになる。損害保険会社の立場からは損失の平均の大小は保険料収入の大小に繋がることから、平均は大きい方が望ましい。他方、損失のばらつきは支払うべき保険金の不確実さであるので、標準偏差は小さい方が望ましい。すなわち、図1の空間では上方あるいは左にあるサンプルほど望ましく、下方あるいは右方に存在するサンプルほど好ましくないと言える。一例として、このようなサンプル空間におけるサンプルを取り上げる（図中でサンプルOとする）。サンプルOを通りX軸に平行な断面を考え、左方にサンプルAを、右方にサンプルBを設定する。上記からサンプルA>サンプルO>サンプルBの順で望ましい。同様にサンプルOを通りY軸に平行な断面を考え、上方にサンプルCを下方にサンプルDを取る。この場合はサンプルC>サンプルO>サンプルDの順で望ましい。サンプルAとサンプルC

の望ましさの大小関係は、望ましさ p を式(1)にて示す場合の値で考えることができる。

$$p = \mu - m\sigma \quad (1)$$

ここで μ は平均、 σ は標準偏差、 m は意思決定者（リスクテイカー）の性向を示す係数で、平均値に重きを置く場合には m を小さくとり、ばらつきに重きを置く場合には m を大きくとることになる。サンプルの分布を図 1 に示すような領域（図中の網掛け部分）とするならば、式(1)と領域が接する点が最適解となる。また、 m が未定である場合でも、 $0 \leq m \leq \infty$ であることから、点 E～点 F 間の領域境界に最適解が存在する。また、この最適解の近傍を最適領域とする。

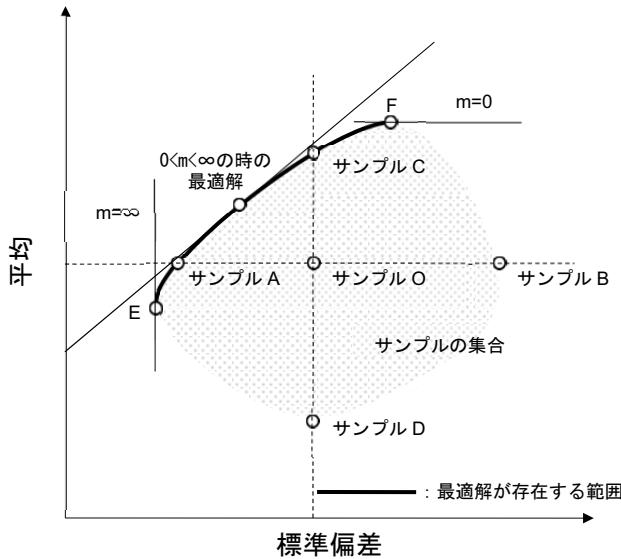


図 1 自然災害リスクにおける平均と標準偏差

3. サイクロンリスクの評価方法

既報^{1), 2), 3), 4)}にてインド西部のグジャラート州におけるサイクロンについて風災ハザードを作成し、リスク解析用の確率モデルを検討した。過去に同州を襲来した一定規模以上のサイクロンを対象にその進行速度、進行角度等のパラメータに関する統計的な特性を分析し、これらを基にモンテカルロシミュレーションを用い仮想的に 1 万年分のサイクロンを生成、同州内の任意の地点における予想最大瞬間風速を求め当該地域における風災ハザードを推定した。さらに、建物構造に対して設定した最大瞬間風速における建物価格に対する建物損傷度との関係を示すバルネラビリティー・カーブ⁵⁾を用いてポートフォリオの損失額を算出した。

なお、ポートフォリオの構成要素として図 2 に示す州内の主要 District 中心地點 29 サイトに建物によるポートフォリオを設定する。多様なポートフォリオによる影響を検討するために、ポートフォリオを構成する建物の合計資産価額は式(2)のように常に一定とした条件にて、ランダムに 1 万通りのポートフォリオを設定した。

$$W_{k,1} + \dots + W_{k,j} + \dots + W_{k,n} = 1.0 \quad (2)$$

$$0 \leq W_{k,j} \leq 1.0 \quad (3)$$

ここで、 $W_{k,i}$ は設定した k 番目のポートフォリオの i 番目のサイトの資産価格、 n はサイト数でこの場合全サイト数である 29 である。この 29 サイトに建物を配置することとした。

1 万年分の仮想サイクロンの通過時に各サイトにおける建物群の損失額およびポートフォリオ全体の損失額を算定した。式(4),(5)にて損失額の算定式を記す。

$$L_{i,j,k} = D(Vm_{i,j}) \times W_{k,i} \quad (4)$$

$$R_k = \sum_i \sum_j L_{i,j,k} \quad (5)$$

ここで、 $D(Vm_{i,j})$ はバルネラビリティー・カーブの関数を示し i 番目のサイトにおける j 番目のサイクロンでの最大瞬間風速 $Vm_{i,j}$ による建物の損傷率、 $L_{i,j,k}$ は j 番目のサイクロンによるポートフォリオの損失額、 R_k は k 番目のポートフォリオの損失額の合計である。1 万通りのポートフォリオに対して順次、式(4)(5)による損失額をシミュレートした。次にこれらの 1 万通りの各ポートフォリオの損失額に対して平均値（損失期待値）、標準偏差を其々、算定した。

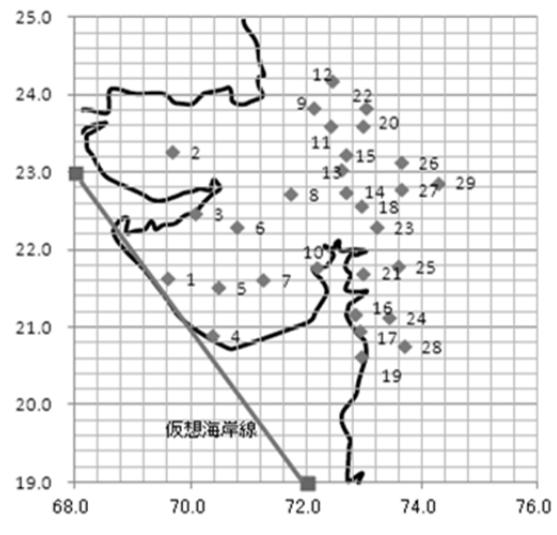


図 2 サイト位置図

4. 検討結果

4.1 ポートフォリオの損失の平均値と標準偏差との関係

図 3 にシミュレーションで得られたポートフォリオ群の損失の平均値と標準偏差の関係を示す。各プロットは設定した各々のポートフォリオに対する 1 万年分のシミュレーションにより得られた損失の平均と標準偏差をプロットしたものである。各ポートフォリオを構成するサイト数は、合計の資産価格を一定とした条件下で様々なサイト数から構成されている。

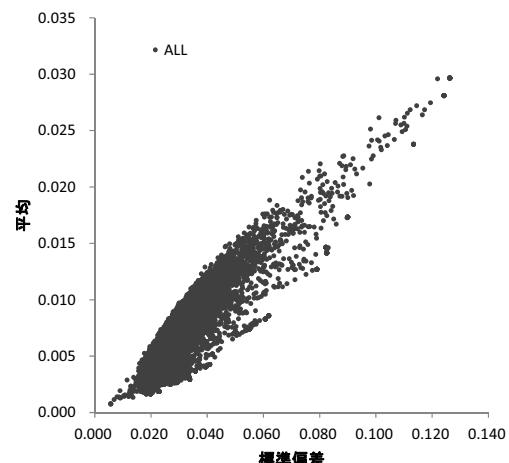


図 3 設定ポートフォリオの損失の平均値と標準偏差

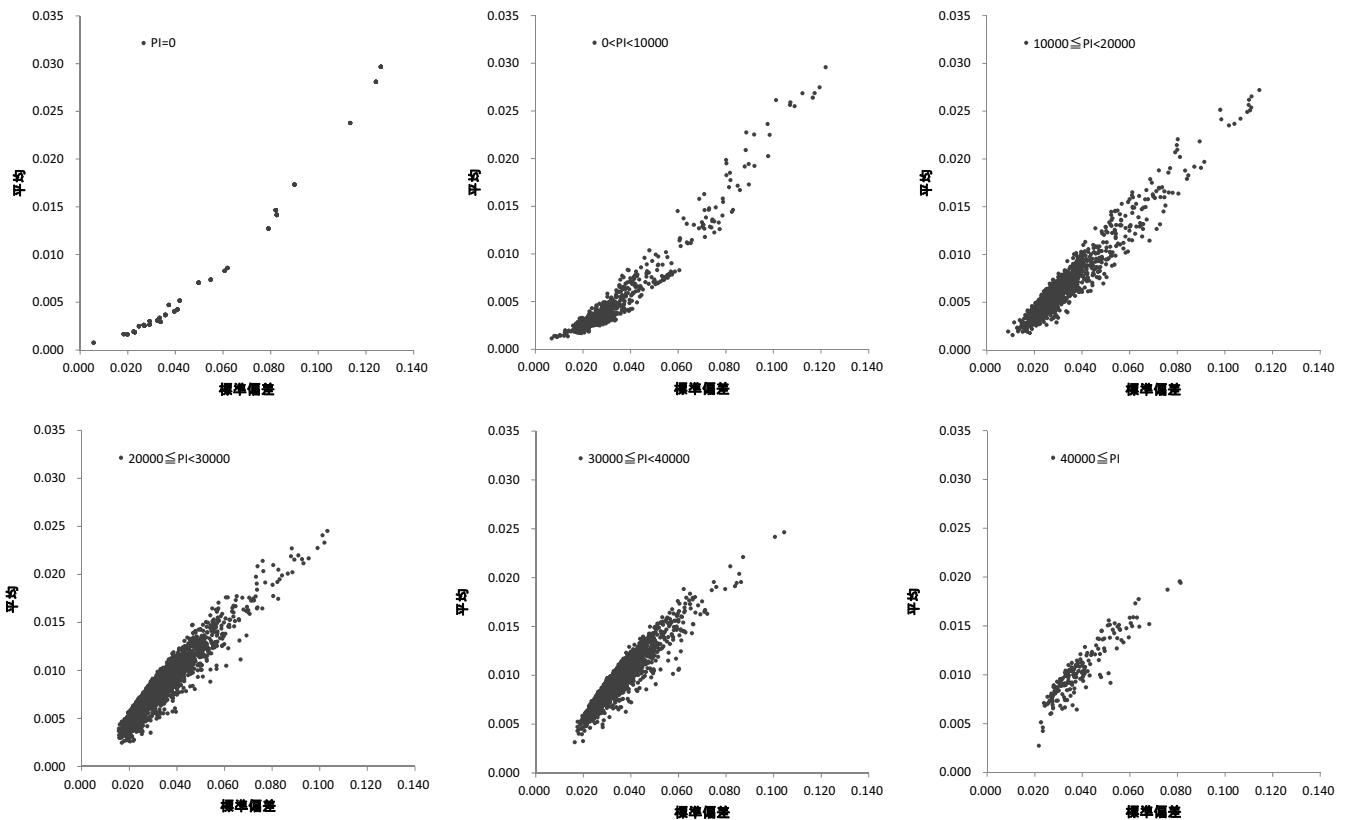


図4 ポートフォリオ指標 PI 別の平均ー標準偏差図

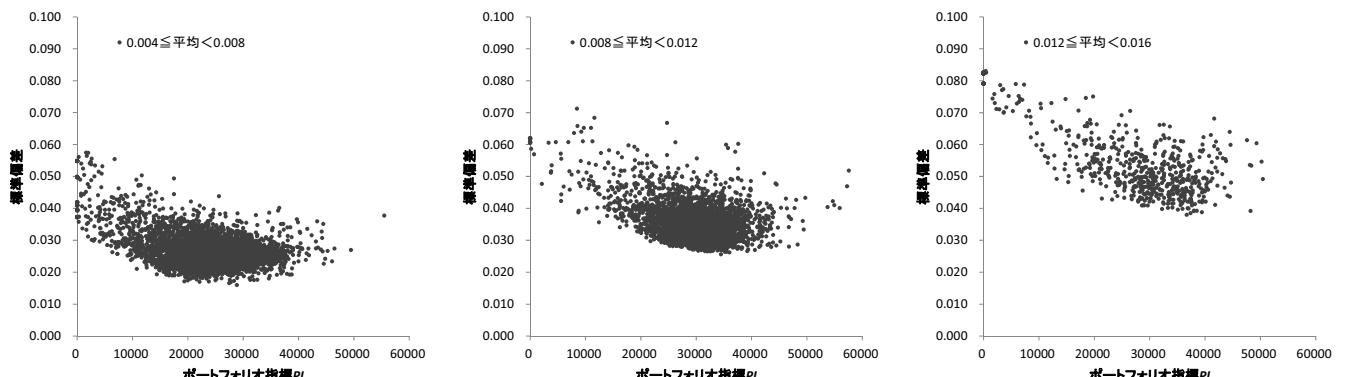


図5 ポートフォリオ指標 PI と標準偏差の関係

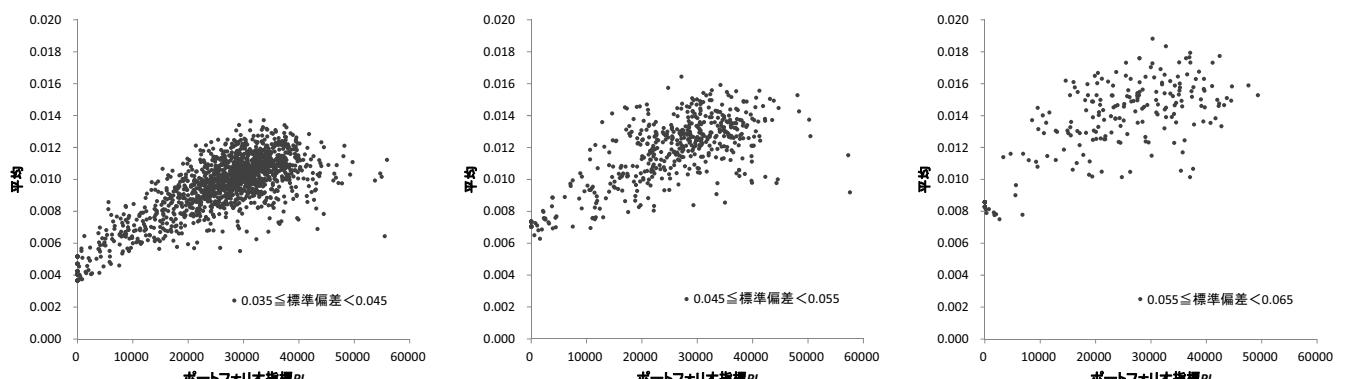


図6 ポートフォリオ指標 PI と平均の関係

図 3 から全般的には損失の平均値が大きくなるほど、標準偏差も大きくなる傾向にあり、大きな平均値のポートフォリオを構築しようとすれば、その標準偏差も大きくなるため、大きな平均値の実現に関する不確定性も大きくなることが判る。また、平均値および標準偏差が大きくなるにつれプロット密度は疎になっているが、これらは、平均値および標準偏差の大きいサイトの組み合わせのみで実現されるためシミュレーション上、出現する回数が少ないと起因している。得られた平均一標準偏差図により、対象サイト数、資産価格等の与えられた条件下において平均値と標準偏差の取り得る範囲を把握することができる。

4.2 ポートフォリオ指標による平均一標準偏差の関係

サンプル集合を構成するポートフォリオの特徴を把握するには、ポートフォリオを構成するサイトの位置、資産価格、サイト間の損失の相関性等について検討する必要がある。ポートフォリオを構成するサイト数が少なければ、ポートフォリオの特徴を把握することも容易であるが、ポートフォリオを構成するサイト数が増えるとポートフォリオの特徴を把握することは容易ではない。したがって、複数サイトからなるポートフォリオの特徴を把握するためには、当該ポートフォリオの特徴を示す何らかの指標が必要となる。ここでは、その指標として、サイト位置およびその価格による重心位置を当該ポートフォリオの代表点と考え、重心位置からポートフォリオを構成する各サイトまでの距離と各サイトの資産価格について 2 次モーメントに相当する指標を式(6)で算出し、これをポートフォリオ指標 (*PI* : Portfolio Index) として表す。

$$PI_k = W_{k,1} * r_{k,1}^2 + \dots + W_{k,j} * r_{k,j}^2 + \dots + W_{k,n} * r_{k,n}^2 \quad (6)$$

ここで、 $r_{k,i}$ は重心位置から k 番目のポートフォリオにおける i 番目のサイトまでの距離である。なお、*PI* を 2 次モーメント形式で与えたのは、サイトの広がりについてリスク分散の効果がより強く表れることを反映するためである。定的には *PI* が大きい場合、サイト間の距離は十分に離れており、かつサイト価格も各サイトに平均的に散らばっているような場合であり、一般的にはサイト間距離が離れるとサイト間の損害の相関性も低減する傾向にあることから、サイト間の被害に関する相関性の要素も一定程度、加味された指標であるといえる。ポートフォリオ指標 *PI* の大きさ毎に平均一標準偏差図を示すと図 4 のようになる。

PI=0 の場合、ポートフォリオを構成するサイトは 1 サイトのみであり、サイト位置とポートフォリオの重心位置は一致している。*PI* が大きくなるにつれて、ポートフォリオ群はサンプルの集合の右下から左上に移動し、の場合には最適領域近傍に位置するようになる。

次に平均を一定範囲に固定した場合の *PI* と標準偏差の関係を図 5 に示す。前述したように、同じ平均値が得られるならばリスクテイカーにとっては標準偏差が小さいポートフォリオが好ましいと言える。図 5 によれば *PI* が大きい程、標準偏差が低減する傾向にあることがわかり、*PI* の大きさを把握することで、当該ポートフォリオが効率的なポートフォリオであるか否の判断する材料となりうると考えられる。

次に標準偏差を一定範囲に固定した場合のポートフォリオ指標 *PI* と平均との関係を図 6 に示す。*PI* が増加するにつれて平均も増加する傾向にあり、同一の標準偏差

において大きな平均のポートフォリオを得ようとする場合、*PI* の大きいポートフォリオを構築すればよいことが判る。リスクテイカーとしては、ある程度の標準偏差を許容する前提であれば、得られる損失期待値が大きいポートフォリオの方が望ましいと言え、*PI* の大きなポートフォリオを構築することが必要である。

5. まとめ

本研究では、設定したポートフォリオ群のデータを基にポートフォリオ群の損失の平均と標準偏差の関係について調べ、以下の知見を得た。

- (1) サイトの選定と資産価格の組み合わせにより、ポートフォリオは様々な平均や標準偏差を取り得るが、シミュレーションにより、多数のポートフォリオ（ポートフォリオ群）を設定することにより、与えられた条件にて平均や標準偏差の取り得る範囲を平均一標準偏差図で示すことができた。
- (2) 損害保険会社のようなリスクテイカーにとって、構築した保険契約ポートフォリオを平均一標準偏差図における位置付けを把握し、より有益なポートフォリオに改善するために活用することができる。
- (3) 複数のサイトから構成されたポートフォリオの特徴を理解しやすくするために、ポートフォリオを構成する複数サイトの位置と資産価格から重心を求め、2 次モーメントに相当する指標をポートフォリオ指標とした。リスクテイカーにとって、同じ平均値を得るには標準偏差の小さなポートフォリオを構築することが望ましいが、平均が一定範囲となる条件下で、ポートフォリオ指標と標準偏差の関係を調べたところ、ポートフォリオ指標が大きくなるにつれ、標準偏差が小さくなる傾向が見られた。ポートフォリオ指標にはサイト間の距離の要素に加えて資産価格の要素も含まれているが、距離に着目すると、サイト間の距離が増せば独立傾向が強くなり必然的に標準偏差は小さくなる。

今後は、多地点に分布する建物資産に対する予想最大損害額 (PML : Probable Maximum Loss) の算定に際して、多地点に分布する資産をポートフォリオ指標に置き換えて簡易的に算定する等、更なるポートフォリオ指標の活用について検討する予定である。

参考文献

- 1) 渡部弘之、鈴木弘二、矢代晴実、福島誠一郎：インドにおけるサイクロンハザードモデルの基礎的な研究、地域安全学会研究発表会梗概集 No. 20, pp. 103-106, 2007
- 2) 渡部弘之、鈴木弘二、矢代晴実、福島誠一郎：インド西部におけるサイクロンリスクの確率論的な評価、日本自然災害学会学術講演会講演概要集, pp. 63-64, 2007
- 3) 渡部弘之、矢代晴実、福島誠一郎：インドにおけるサイクロンリスク解析のための確率モデルの基礎研究、日本建築学会環境系論文集第 621 号, pp. 83-90, 2007. 11
- 4) H. Watabe, K. Suzuki, H. Yashiro, S. Fukushima : International Conference on Wind Engineering 12, pp. 1775-1782, 2007
- 5) Anand S. Arya: Recent developments toward earthquake risk reduction in India, pp. 1270-1277, Current Science, Vol. 79, No. 9, 2000. 10