

解 説

天候デリバティブと証券デリバティブ

東京国際大学 商学部 教授
渡辺 信一

1 はじめに

最近、中小企業を対象に、天候デリバティブが売られている。利用者は、主に、収益が天候によって左右される電力会社、ガス会社、農業従事者、飲料メーカー、小売業、総合家電、レジャー産業、建設業である。販売の主体は、銀行、損保、商社であり、最終的なリスクの引き受けは、損保が担当する場合が多い。これは、リスク・ヘッジが困難であるため、マーケット・メーカーがいないことに加えて、損保が、従来から、自然現象を対象とした保険を提供してきたことから、リスク・コントロールが可能であると考えられているためと思われる。

天候デリバティブは、従来、必ずしも直接的なビジネス・リスクとしては捉えられていなかった異常な気温変化等の自然現象、あるいは、自然現象の変化による企業収益の変動、それ自体をリスクとして捉え、それをヘッジすることを可能にする仕組みである。

気温を対象とした天候デリバティブの中で代表的なオプション取引は、以下のように行われる。まず、指数（一般的には、対象期間中の平均気温）が、ストライクプライス（免責額）をどれだけ上回ったか（コール・オプションの場合）、あるいは、どれだけ下回ったか（プット・オプションの場合）を算出する。この値に、単位支払額を掛けて、最終的な受け取り金額を算出する。具体的には、以下の計算式によって、変動金額（決済額）が確定する。

$$\begin{aligned} \text{コール・オプション変動金額（決済額）} &= \text{単位支払額} \times (\text{指数} - \text{ストライクプライス（免責額）}) \\ \text{プット・オプション変動金額（決済額）} &= \text{単位支払額} \times (\text{ストライクプライス（免責額）} - \text{指数}) \end{aligned}$$

この場合、気温が例年の平均以下の冷夏をヘッジした場合は、プットを、例年の平均以上の暖冬をヘッジした場合は、コールを購入することになる¹。

海外で取引される天候デリバティブの場合は、日本とは異なる計算方式が採用されている。支払の基となる指数としては、冬場の場合は冬がどれだけ寒いかを示す日々のHDD（Heating Degree Day）の期間中の累計値、夏場の場合は、夏がどれだけ暑いかを示す日々のCDD（Cooling Degree Day）の期間中の累計値が使われることが多い²。いずれの指標も、数が大きければ、気候が厳しい（厳冬、猛暑）ことを表す。HDD、CDDの定義は、以下の通りである。

$$\text{HDD} = \text{Max} (\text{華氏65度} - \text{当該日の平均気温}, 0)$$

$$\text{CDD} = \text{Max} (\text{当該日の平均気温} - \text{華氏65度}, 0)$$

冬場のリスク・ヘッジに使われるのがHDDで、夏場のリスク・ヘッジに使われるのがCDDである。したがって、暖冬に備える取引が、HDDプットであり、冷夏に備える取引が、CDDプットである。また、厳冬に備える取引が、HDDコールであり、猛暑に備える取引が、CDDコールである。コール、プットの名称の由来は、暖房や冷房に必要なエネルギーの消費量を基準にして考え、厳冬、猛暑であれば、HDD、CDDの値が大きく、暖冬、冷夏であれば、HDD、CDDの値が小さいことに起因する。これ以外にも、一定の条件を満たす日数を数えて、免責日数との差額に単位支払額を掛ける日数カウント型のオプションもある。

また、当初、オプション料を払わなくても良いように、例えば、猛暑ならば、その程度に応じて一定金額が得られるが、冷夏の場合は、その程度に応じて一定金額を支払うスワップ契約や、一定の範囲では、支払も受け取りもないが、一定の気温を超えると、支払や受け取りが発生するカラーという取引（コールの買い+プットの売り=カラーの買い、コールの売り+プットの買い=カラーの売り）もある。

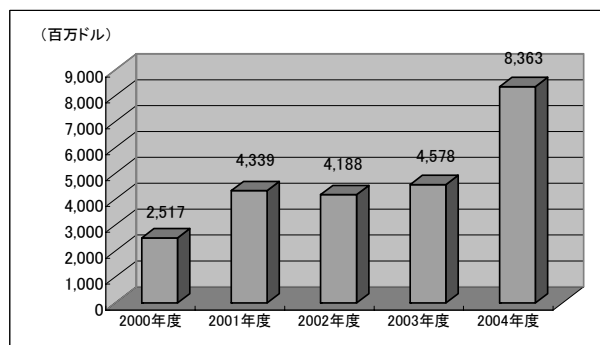
天候デリバティブは、OTC取引が中心であり、上場された取引は、取引高が少ないのが特徴である。取引所取引としては、1999年にCMEが世界で初めて、天候先物取引を上場し、ニューヨークやシカゴといった全米10都市、ロンドン、パリ、ベルリンといった欧州5都市のHDDとCDDのスワップ、オプション取引を開始した。LIFFE（ロンドン国際金融先物取引所）も、2001年11月にロンドン、パリ、ベルリンといった都市のカレンダー・ベースの月ごとの日々の平均気温の平均値のスワップ取引を開始した。

OTC取引に関しては、WRMA（Weather Risk Management Association）が2001年度分から毎年、調査を行っている。2005年11月に発表されたWRMAの2004年度の調査によれば、2004年4月から2005年3月までの最大支払金額ベースで見た市場規模は、約84億ドルで、前年度の約46億ドルから、約82%増加した（図1参照）。カバレッジを考えると、実際は、この2～3倍の市場規模があることになる。

日本でも、OTC取引を中心に、銀行、損保会社が、主に、中小企業を対象とした取引を行っている。本稿では、地球温暖化との関連で注目を集めつつある天候デリバティブに関して、その価格評価の方法を証券デリバティブと比較して論じたい。

図1 天候デリバティブの市場規模の推移

（最大支払金額ベース）



（出典：WRMA HP "Industry Survey Result 2004-4005",
<http://www.wrma.org/wrma/library/256,1,Results of the 2005 PwC Survey>）

¹ 従って、このタイプでは、厳冬には、プット、暖冬には、コールが利用される。海外では、エネルギーの消費量を基準にして考えるので、厳冬にはHDDコール、暖冬には、HDDプットが利用される。この場合、日本方式とは逆になる。

² HDD、CDDでは、人間が不快を感じるのとされる華氏65度≒摂氏18度を基準にして数値を算出する。

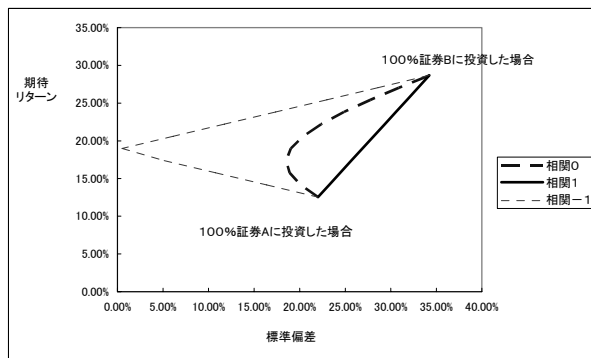
2 CAPMの導出と前提条件

マーコヴィッツに始まる現代ポートフォリオ理論は、相関係数が1以外の証券を組み合わせる形で資産を保有するとき、すなわち、ポートフォリオの形で証券を保有したときの方が、証券を単独で保有する場合よりも、リスク(標準偏差)が減少することを理論的な根拠として、発展してきた(図2参照)。

図2では、銘柄A(期待リターン=12.54%, 標準偏差=22.00%), 銘柄B(期待リターン=28.66%, 標準偏差=34.24%)で算出している。

この理論に基づけば、任意の異なる証券を組み合わせることで、ポートフォリオのリスク(標準偏差)は、両者の加重平均以下の値になる。この理論を発展させれば、分散投資の究極の形として、指数構成銘柄の全体(いわゆるマーケット・ポートフォリオ)を保有するパッシブ運用が正当化される。事実、日本やアメリカの年金基金や、大部分の機関投資家は、この理論に基づいて、パッシブ運用(インデックス運用)を行っているのが現状である。

図2 ポートフォリオのリターンとリスク



マーコヴィッツの理論は、資本市場の均衡という概念を生み出した。均衡状態において、リスクの市場価格と、個別証券の限界代替率が等しくなることから、個別証券と、マーケット・ポートフォリオ(世の中のすべての証券の市場価値の割合に保有する割合を合わせたポートフォリオ)との間に成立する均衡モデル(いわゆるCAPM)が導出された。

ところで、CAPMは、以下の条件が成立することを前提に組み立てられている。

- (1) リスク回避的なすべての投資家は、最適なリスク資産ポートフォリオとして接線ポートフォリオ(T)³を保有する。
- (2) 無危険資産があるときは、投資家に最適なポートフォリオは、マーケット・ポートフォリオと、無危険利利率の組み合わせで決まるが、両者の割合と、リスク資産ポートフォリオの決定は独立して決められる(分離定理)。
- (3) マーケット・ポートフォリオ(M)は、均衡状態において、最適なリスク資産ポートフォリオとなる。その理由は、証券価格は需給で決まるが、短期的に証券の供給を変化させることは出来ないと仮定され

³ R_F (無危険利利率)を、縦軸上に置き、 R_F から有効フロンティアへ引いた接線が、有効フロンティアに接する点におけるポートフォリオを、接線ポートフォリオと言う。

るから、必然的に需給の調整は価格調整によって行われることになる。その結果、自己の保有割合を市場の時価総額に合わせたポートフォリオが、最も効率的なポートフォリオとなるからである。

- (4) したがって、均衡状態において、マーケット・ポートフォリオは、接線ポートフォリオと一致する($T=M$)。

こうして、リスクの市場価格(接線ポートフォリオの傾き)が得られる。

- (5) 均衡状態において、リスクの市場価格(左辺)と、個別証券の限界代替率(右辺)は一致する。すなわち、以下の式が成立する。

$$\frac{E(R_M) - R_F}{\sigma(R_M)} = \frac{E(R_i) - E(R_M)}{\frac{\text{Cov}(R_i, R_M) - \sigma^2(R_M)}{\sigma(R_M)}} \quad \dots (1)$$

ただし、 $E(R_p)$: ポートフォリオの期待リターン
 $\sigma(R_p)$: ポートフォリオのリターンの標準偏差

R_F : 無危険利利率

$E(R_M)$: マーケット・ポートフォリオの期待リターン

$E(R_i)$: 証券*i*の期待リターン

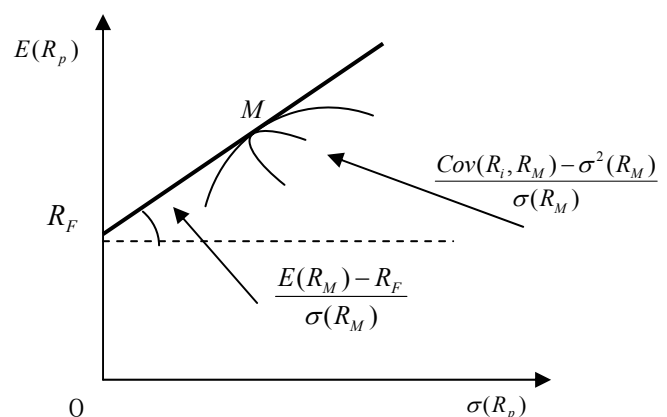
$\sigma(R_M)$: マーケット・ポートフォリオのリターンの標準偏差

$\sigma(R_i)$: 証券*i*のリターンの標準偏差

$\text{Cov}(R_i, R_M)$: 証券*i*とマーケット・ポートフォリオの共分散

- (6) 具体的には、CAPMの理論は、以下の図で表される(図3参照)。

図3 CAPMの導出



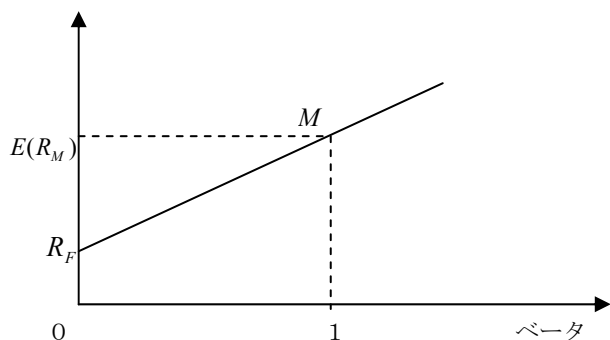
(出典: 大村敬一, 1999, 『現代ファイナンス』, 有斐閣, P. 62に加筆)

(1) 式を変形すると、個別証券とマーケット・ポートフォリオとの間の均衡モデルが導出される。ここで、資本市場が均衡し、すべての投資家が、マーケット・ポートフォリオを保有する場合は、個別資産の期待リターンは、市場リスクの尺度であるベータに基づいて決まる。すなわち、以下の関係が成立する(図4参照)。

$$E(R_i) = R_F + [E(R_M) - R_F] \beta_i$$

$$\text{ただし, } \beta_i = \frac{\text{Cov}(R_i, R_M)}{\sigma^2(R_M)}$$

図4 ベータと個別資産の期待収益率



(出典：大村敏一，1999，『現代ファイナンス』，有斐閣，P.64に加筆)

ところで、あまり知られていないが、有名な、ブラック＝ショールズ式は、CAPMを前提に組み立てられている。その導出の過程では、原資産とデリバティブとの間で、デルタ単位の株式の購入と1単位のデリバティブの空売りを組み合わせることで、無限のリスクレス＝ヘッジが行われることが仮定されているが、その結果、瞬間的にヘッジ＝ポートフォリオの期待収益率は、無危険利子率に一致する。これは、CAPM的な均衡状態の成立を意味する。従って、厳密な意味では、ブラック＝ショールズ式は、CAPMが成立する前提でしか使えないことに注意する必要がある。

3 新しいリスク管理手法

天候デリバティブと、有価証券デリバティブとの最大の違いは、デリバティブの原資産（デリバティブの対象となる資産）が、市場で売買されていない点である。このことは、この種のデリバティブの価格評価には、ブラック＝ショールズ式が使えないことを意味する。なぜならば、先に述べたように、ブラック＝ショールズ式は、原資産と、デリバティブとを組み合わせで行われるリスクレス＝ヘッジが繰り返される結果、両者を組み合わせたポートフォリオが、均衡状態では、無危険利子率と同じリターンをもたらすことを仮定することによって成立しているからである。

ブラック＝ショールズ式が革新的で、その後のデリバティブ市場の成長に寄与した最大の理由は、デリバティブと原資産との間でリスクレス＝ヘッジが繰り返し行われることを仮定することで、均衡条件が無危険利子率に反映される結果、原資産の期待収益率や、投資家のリスク選好（効用関数）を推計する必要がなかった点にある。そして、その前提には、原資産を取引対象とする市場の存在があった（完備市場の存在）。しかしながら、天候デリバティブの場合は、そのような市場がなく、リスクレス＝ヘッジは行われないので、原資産（例えば気温）の将来の動きを推計したり、投資家の効用関数を推計したりする必要がある。

さて、天候デリバティブの取引高は世界的に見ても、増加傾向にはあるが、それほど目立った増加ではない。その理由は、大企業がリスクをヘッジするだけの市場規模がないことや、天候デリバティブが十分に認知されていないことの他に、信頼できる価格モデルがないので、マーケット・メーカーが存在しないことが上げられよう。

ところで、そもそも、有価証券のデリバティブがあるにもかかわらず、企業が天候デリバティブを利用するニーズは、どこにあるのだろうか。有価証券のデリバティ

ブの場合、取引の対象となるのは、証券価格であり、それ自体が、経済的価値を有している。これに対して、天候デリバティブの取引対象は、「気温」等の自然現象であり、それ自体は、経済的価値はない。その意味では、天候デリバティブは、「地震」や「災害」等の事象の発生を原因として、金銭が自動的に給付される保険に近いものである。しかし、保険は、事象の発生と損害との間の因果関係が明確である必要があり、天候デリバティブは、必ずしも保険と同じ機能を持っていると考えることもできない。

結局、天候デリバティブは、必ずしも事象の発生と損失との間に因果関係はないが、企業収益に対する影響が大きいリスクをカバーするものであり、事象の発生があれば、因果関係を立証することなく、自動的に給付がなされる点に、特徴があると言えよう。この意味では、天候デリバティブは、企業の倒産時に支払がなされるクレジット・デリバティブに近い性格を持っていると考えることもできる。

また、クレジット・デリバティブや天候デリバティブに共通の特徴として、対象となるリスクが、非常に限定されていると言うことができる。この点は、大企業で、天候デリバティブの取引額がそれほど多くないことと関連しているかもしれない。大企業の場合、企業収益に影響を受けるリスクが広範であるため、「気温」等の自然現象の与える影響が、中小企業と比較して、それほど大きくないのかもしれない。また、大企業の支店や工場は全国、あるいは、全世界にあるため、その意味でも、自社内でグローバル化によるリスク分散が達成されているのかもしれない。いずれにしても、従来は、市場で取引されている金融商品に限定されていたデリバティブ取引が、市場性のない原資産を対象とする取引に拡大しつつあるのは、最近の傾向である。

世界で最初の天候デリバティブ取引は、1997年9月に、アメリカで行われたエネルギー会社間の取引であると言われている。日本で最初の天候デリバティブ取引は、1999年6月に、三井海上とスキー用品販売会社との間で行われた小雪日数指数オプションである。

また、日本で、最初の天候デリバティブのカラー契約は、2001年に行われた東京電力と東京ガスの間のカラー契約であるとされる。カラーの買い手（指数の上昇リスクをヘッジする主体、ここでは、東京ガス）は、コールの買いとプットの売りを組み合わせ、カラーの売り手（指数の下落をヘッジする主体、ここでは、東京電力）は、コールの売りとプットの買いを組み合わせる。

電力会社とガス会社は、お互いに冷夏リスクを共有しているが、猛暑の時は、ガス会社の事業収益が落ち込み、電力会社の事業収益は上昇する。したがって、両者間でスワップ契約、あるいは、カラー契約を締結することが可能となるのである。

4 天候デリバティブの価格モデル

天候デリバティブの価格を求める方法には、大きく分けて、2種類あるとされる。1つは、気象学のアプローチであり、もう一つは、統計学的アプローチである。

気象学のアプローチは、気象学の学問的な成果を利用することによって、将来の気象を決定論的に予測するアプローチである。これに対して、統計学的アプローチは、統計学の成果を利用することによって、将来の気象を確率論的に予測するアプローチである。前者は、決定論的偏微分方程式型のアプローチであり、後者は、確率微分

方程式型のアプローチであると言える。後者は、統計的にリスク量を算出するので、保険的アプローチと言うこともできる。統計的アプローチにも、さまざまなものがあるが、以下では、代表的なB. Dischelのモデルを紹介する。

B. Dischelのモデルは、以下のようなモデルで、実際のデータから、 α 、 β 、 γ の値を推計するものである。

$$T(k) = \alpha * \Theta(k) + \beta * T(k-1) + \gamma * \Delta T(k)$$

ただし、以下の定義に従う。

$T(k)$: ある任意の日 ($k=1$) からの k 日目の気温

α : $1-\beta$

Θ : 対象日 (k) の過去数年間の平均気温

$$(\Theta_{date} = \frac{\sum_{year} T_{year, date}}{year})$$

$T(k-1)$: 対象日 (k) の前日の気温

$\Delta T(k) = T(k) - T(k-1)$

このモデルでは、前日との温度差である ΔT が確率的に変動することを仮定している (第3項)。また、ある日の気温が、過去の平均気温 (第1項)、前日の気温 (第2項) にも依存するものとしている⁴。いずれにしても、天候デリバティブの価格モデルは、証券デリバティブのような洗練された価格評価モデルと比較して、大いに改善の余地のある段階にあり、そのことが、マーケット・メーカーの不在を招き、天候デリバティブの普及の足かせとなっている。

5 おわりに

このように、天候デリバティブは、天候リスクによる企業収益の変動といった、本質的ではあるものの、きわめて限定的なリスクに対するヘッジの手法を提供する商

品である。理論的にも、プライシング・モデルが確立していない等、今後、解決しなければならない問題点も多い。しかしながら、日本でも、中小企業を中心に、収益が天候に左右されるリスクを減少させる手段として、徐々に認識され、取引高も増加傾向にある。天候デリバティブは、今後、証券デリバティブとは異なるニーズを吸収しながら、市場を開拓していく可能性を持っている。

現状、日本において、天候デリバティブ取引が必ずしも大企業に広がっていない理由としては、従来、自然現象をビジネス・リスクとして捉える風土がなかったこと、プライシング・モデルが確立していないため、マーケット・メーカーが不在で、市場規模が増えないこと、実際に取引を行う契約者の条件がバラバラで、基準化できないため、提供側のコスト負担が大きいこと、大企業では、天候デリバティブに頼らないで、それ以外の方法 (ビジネス・ラインの変更や、他のヘッジ手段の利用) でリスク・ヘッジを行う傾向にあること、等がある。

しかしながら、WRMAの調査に見られるとおり、全世界的に、天候デリバティブの取引は増加しつつある。今後、日本でも天候デリバティブが飛躍的に普及する可能性がある。また、地球温暖化対策として、排出権取引が活発化することも予想される。その意味では、今後の展開に期待したい。

(参考文献)

- 1 Cao Melanie, and John Wei, 2002, "Equilibrium valuation of Weather Derivatives", Working Paper
- 2 Dischel Bob, "Black-Scholes won't do", Financewise HP (http://www.financewise.com/public/edit/energy/weather_risk/wthr-optionsp.htm)
- 3 WRMA HP, "Industry Survey Result 2004-4005", (http://www.wrma.org/wrma/library/256.1.Results_of_the_2005_PwC_Survey)
- 4 天崎祐介他, 2003, 『天候デリバティブのすべて』, 東京電機大学出版局
- 5 大村敬一, 1999, 『現代ファイナンス』, 有斐閣
- 6 小野雅博, 2004, 『天候デリバティブ』, シグマベイスキャピタル
- 7 土方薫, 2003, 『総論 天候デリバティブ』, シグマベイスキャピタル

⁴ 実際のオプション料は、確率分布適合法や、Burning cost法によって算出される。また、代表的な投資家の効用関数を仮定して、気温と総配当の相関がゼロとする均衡条件を与え、解析解を得るアプローチもあるが、投資家の効用関数をCAPMで代表し、連続的なリスクレス＝ヘッジを仮定するブラック＝ショールズ式と比較して、洗練されたものとは言えない。詳細は、土方薫, 2003, 『総論 天候デリバティブ』, シグマベイスキャピタル P.112参照。

1. 日経平均株価及び日経株価指数300構成銘柄の一部入替え

(株)日本経済新聞社は、監理ポスト割当てに伴う日経株価指数300の構成銘柄の一部入替えについて、以下のとおり発表いたしましたので、お知らせします。

1. 日経株価指数300

除外銘柄	補充銘柄	実施日
すかいらーく (8180)	—	平成18年6月9日(金)
—	ワコールホールディングス (3591)	平成18年6月13日(火)