

目次

1. イントロダクション 1

- 1. 1. 研究の意義 1
- 1. 2. 先行研究と本論文の位置づけ 6
- 1. 3. 本論文の構成について 16

2. 商品先物価格とコンビニエンス・イールド 18

- 2. 1. コンビニエンス・イールドの定義 18
- 2. 2. コンビニエンス・イールドの期間構造 23
- 2. 3. 先行研究 25
- 2. 4. コンビニエンス・イールドのデータ分析の方法 26
- 2. 5. 原油コンビニエンス・イールド 32
- 2. 6. 小豆コンビニエンス・イールド 46
- 2. 7. 粗糖コンビニエンス・イールド 60
- 2. 8. データ分析結果の総括 73

Appendix A 非線形最小2乗推定量が条件付最尤推定量に一致することの証明 76

3. コモディティ・リンク債券価格の導出 78

- 3. 1. 先行研究 79
- 3. 2. 仮定と記号の設定 80
- 3. 3. 偏微分方程式の導出 82
- 3. 4. コモディティ・リンク債券価格の導出 86
- 3. 5. コモディティ・リンク債券発行企業のデフォルト確率の表現 94

Appendix B の求め方 102

Appendix C コモディティ・リンク債券価格およびデフォルト確率の数値計算プログラム 103

4. 国内生産で消費の大部分をまかなっている商品を原資産とする商品先物価格の導出 106

- 4. 1. 先行研究 107
- 4. 2. 仮定と記号設定 108
- 4. 3. 先物取引システム 111
- 4. 4. 偏微分方程式の導出 114
- 4. 5. 商品先物価格の導出 117

Appendix D 商品先物価格の数値計算プログラム 126

5. 海外からの輸入に消費の大部分を依存している商品を原資産とする輸入商品先物価格および輸入商品先物オプション価格の導出 127

- 5. 1. 先行研究 128
- 5. 2. 仮定と記号設定 129
- 5. 3. 輸入商品先物価格の導出・その1 偏微分方程式の導出 134
- 5. 4. 輸入商品先物価格の導出・その2 条件付き期待値の計算 138
- 5. 5. 輸入商品先物オプション価格の導出 145
- 5. 6. 輸入商品先物価格および輸入商品先物オプション価格の数値計算 154

Appendix E 輸入商品先物価格および輸入商品先物オプション価格の数値計算プログラム 165

6. 商品派生証券と企業のリスク・ヘッジ 169

- 6. 1. 企業が抱える商品価格変動リスク 169
- 6. 2. 商品派生証券を用いたリスク・ヘッジ 173

7. 総括 188

- 7. 1. 議論された内容および得られた成果の概要 188
- 7. 2. 今後の研究課題 193

参考文献 196

謝辞 202

本要旨の構成は以下のようになっている。まず第1節では、消費目的の商品の先物および先物オプションについて研究を行った動機と本論文の貢献について述べる。第2節では、各章での議論の概要および得られた成果について述べる。

1. 研究の意義

1. 1. 商品先物および商品先物オプションを研究テーマとして選択した動機

商品を原料として加工・販売するメーカー企業、商品を生産する企業および農家、そして商品の売買を仲介する商社など、消費目的の商品を取り扱う企業にとって、企業利益が変動する原因となる商品価格変動リスクをヘッジすることは、重要な経営課題であると考えられている。このため、商品市場においてリスク・ヘッジの中心的役割を果たしている商品先物および商品先物オプションの市場価格データの分析、および商品派生証券の価格導出に関する学術的研究の成果が、実務界から強く望まれている。しかし、金融工学の分野において、未だこの領域には多くの研究成果が見られない。ここ数年で商品先物価格のデータ分析および商品派生証券の価格理論に関する研究は少しずつ増加してはいるが、実務界からの要請を満たすには未だ不十分であると思われる。この要請に応えるべく、本論文では消費目的の商品先物および商品先物オプションを研究テーマとして選択した。

1. 2. 輸入商品先物および輸入商品先物オプション価格を導いた理由

資源に乏しい輸入立国である日本の商品市場では、海外からの輸入に消費の大部分を依存している商品の先物が活発に取引されている。以下の表1には国内の各商品取引所に上場されている商品先物および商品先物オプション(*1)の一覧表を、表2には東京穀物商品取引所(TGE)における、1998年10月の一日あたり平均出来高(*2)と開所以来の最高年間出来高を、それぞれ示した。

表1より消費の大部分を輸入に依存している商品が多く上場されていることが分かる。

取引所の名称	上場商品(名称のみのものはすべて先物)
東京穀物商品取引所	米国産大豆、小豆、とうもろこし、粗糖、アラビカコーヒー生豆、ロブスタコーヒー生豆、大豆オプション、粗糖オプション、とうもろこしオプション
東京工業品取引所	金、銀、白金、パラジウム、アルミニウム、ゴム、綿糸、毛糸
横浜商品取引所	乾繭(かんけん)
中部商品取引所	小豆、輸入大豆、甘しよでん粉、乾繭、精糖、綿糸、毛糸、スフ糸
大阪商品取引所	ゴム、綿糸、毛糸、スフ糸、アルミニウム
関西商品取引所	小豆、輸入大豆、粗糖、生糸 粗糖オプション
関門商品取引所	とうもろこし、輸入大豆、小豆、精糖

表1:国内の商品取引所の上場商品一覧

表2より、TGEで取引された米国産大豆先物は、1997年度には延べ約3億トン分の出来高があったことが分かる。つまり400万トン以上といわれる大豆の国内年間消費量(*3)の約75倍もの量がTGEの先物だけで取引されたことになる(なお、商品先物の場合には必ずしも限月まで契約を持ち続けて現物の受け渡しを行うわけではない。途中で反対売買を行って(*4)、差金決済だけをする事も多いため、実際の消費量とかけ離れた取引量になっている)。また粗糖の場合には、1990年に延べ約3.2億トン分の取引が先物で行われた。日本は粗糖を年間約250万トン消費している(*5)と言われているが、TGEではその国内消費量の約128倍もの先物取引が行われたことになる。

このように、日本における輸入商品の先物市場は、出来高の点から見ても非常に活発な取引が行われており(*6)、多くの市場参加者が輸入商品先物を取引していることが分かる。

上場商品	1998年10月の1日 当たり平均出来高(枚)	開所以来の年間最高出 来高 枚数(年度/営業日数)
米国産大豆先物 (取引単位:	13,132	9,966,257 (1997年/243 日)

小豆先物 (取引単位: 2,400kg/枚)		10,134		7,804,868 (1992年/247日)
とうもろこし先物 (取引単位: 100,000kg/枚)		35,255		16,034,716 (1996年/246日)
粗糖先物 (取引単位: 50,000kg/枚)		3,319		6,375,354 (1990年/246日)
アラビカコーヒー生豆先物 (取引単位: 3,450kg/枚)		6,375		605,222 (1998年/96日)
ロブスタコーヒー生豆先物 (取引単位: 5,000kg/枚)		2,048		214,773 (1998年/96日)
大豆オプション (取引単位: 大豆先物1枚/枚)	(プット)	197	(プット)	124,839 (1997年/243日)
	(コール)	227	(コール)	151,720 (1996年/246日)
粗糖オプション (取引単位: 粗糖先物1枚/枚)	(プット)	455	(プット)	94,759 (1997年/243日)
	(コール)	430	(コール)	99,919 (1996年/246日)
とうもろこしオプション (取引単位: とうもろこし先物1枚/枚)	(プット)	505	(プット)	82,853 (1998年/207日)
	(コール)	572	(コール)	87,122 (1998年/207日)

表2: TGEに上場されている商品の、1998年10月の1日当たり平均出来高と開所以来最高年間出来高(東京穀物商品取引所・1998年10月マンスリー・リポートより)。ただしアラビカコーヒー生豆とロブスタコーヒー生豆は1998年6月16日に上場されたため、最高年間出来高は上場以来の累計になっている。また、とうもろこしオプションは1997年9月16日に上場された。

国内消費の大部分を輸入に依存している商品の先物の価格は、国内に輸入された現物の流通価格ではなく、輸入相手国市場での現物価格および通貨交換レートの影響を受け、さらに、国内金利、コンビニエンス・イールド(*7)、相手国金利の影響も反映して決まると考えられる。しかしこれら5つの変量が不確実に変動すると仮定した、消費目的の輸入商品を原資産とする商品先物および商品先物オプション(なお本論文ではこれらをそれぞれ「輸入商品先物」および「輸入商品先物オプション」と呼び、日本国内での生産により消費の大部分を賄っている商品を原資産とした商品先物および商品先物オプションと区別している)の価格式を導出する議論は未だ行われていない。

本論文ではこの点に光を当て、消費目的の商品の相手国市場での現物価格、通貨交換レート、自国金利、相手国金利、そしてコンビニエンス・イールドが不確実に変動するという仮定の下で、輸入商品を原資産とする商品先物および商品先物オプションの価格式を導いた。

【本論文の貢献 : その1】

第5章において導いた輸入商品先物および輸入商品先物オプションの価格式は、先物の原資産が輸入商品であるという点を表現したモデルのもとで導出された価格式である。そのため、従来の商品先物および先物オプション価格式を用いて計算された理論価格と比較して、輸入商品先物および先物オプションの市場価格との価格誤差がより少ないものになるものと思われる。他方、国内生産によって消費の大部分を賄っている商品の先物については、第4章において価格式を導出している。本論文において導いたこれらの価格式は、市場参加者による市場価格の予測と評価に供されることで、リスク・ヘッジの精度向上、取引の効率性の向上、取引技術の向上などに役立つものと考えられる。

【本論文の貢献 : その2】

第3章において扱ったコモディティ・リンク債券は、商品先物や商品先物オプションと比べ、やや一般的ではないと言えよう。しかし、詳しくは第6章第2節で述べるが、コモディティ・リンク債券を利用することにより、取

引所で扱われている商品先物の限月を越えた期間に渡る長期的なリスク・ヘッジが可能になる。このため、コモディティ・リンク債券は新製品開発や新規探掘計画などの長期のプロジェクト・ファイナンスに適したリスク・ヘッジの手段となりうる。また、資金調達を行う財務部門と生産・営業部門とが連携する形で、商品価格の上昇または低下によって生産・営業部門が利益を増加させるときにはその一部をコモディティ・リンク債券の所有者に還元する代わりに、コモディティ・リンク債券はオプション・プレミアム相当分の受け取りに対応して低いクーポン・レートでの債券発行が可能なので、利益が減少する局面においては債券所有者へのキャッシュ・アウト・フローが少なくなり、低い資本コストでの資金調達を行ったのと同じ効果を生むことになるため、企業利益の低下はカバーされるのである。このような全社的なリスク・ヘッジを可能にするという点で、企業全体で見た場合の利益の安定化にもコモディティ・リンク債券は貢献するものと考えられる。以上のようにコモディティ・リンク債券は商品先物や商品先物オプションとは異なったメリットを持つ派生証券である。本論文では、債券発行者がデフォルトする可能性および消費目的の商品に特有の価格決定要因であるコンビニエンス・イールドの不確実な変動をモデルに取り入れ、債券価格を導いた。ここで導かれた価格式およびデフォルト確率計算式は、企業の財務部門の資金調達およびリスク・ヘッジの計画と実行、および投資家の投資意思決定において、非常に有益な情報を生み出すものであると考えられる。

1. 3. 理論と現実との相互的フィードバック

金融工学における研究においては、派生証券価格理論だけに偏ることなく、理論的研究と市場データの分析とを交互に行い、理論と現実の間のギャップを埋めていくことが理想的である。つまり、現実の市場の姿をデータから捉え、それを理論においてモデル化し、派生証券の理論価格を導く。そしてそれを利用して、原資産価格が変動するリスクのヘッジに役立てる、あるいは取引技術の向上に結びつける、という相互的なフィードバックが行われることが望ましいのである。これこそが金融工学の社会的貢献のあるべき姿であると、筆者は考えている。

【本論文の貢献 : その3】

本論文では、消費目的の商品派生証券価格式の導出だけに偏ることなく、原油、小豆および粗糖の先物価格データよりコンビニエンス・イールドを抽出し、データ分析を行った。そしてコンビニエンス・イールドの変動過程について分析することで、コンビニエンス・イールドの変動過程の特徴を明らかにした。この結果は、第3章以降の価格式導出の議論の中で仮定したコンビニエンス・イールドの変動過程モデルの現実妥当性を裏付ける形で、価格理論の中に反映されている。本論文のデータ分析においてコンビニエンス・イールドだけに焦点を絞った理由は、コンビニエンス・イールドが商品派生証券にとって重要な価格決定要因であるにも関わらず、学術的研究が特に進んでいない分野のひとつだからである。

さらに第3・4・5章のそれぞれにおいて導いた商品派生証券の価格式に対し市場データから推定したパラメータ値を代入した後、そのうちの一つだけを変化させて理論価格を計算し、パラメータの変化が派生証券に与える影響について検討した(市場データから推定したパラメータ値を用いたことにより、現実に近い状態を再現している)。そしてこの数値計算から得られた結果は、市場環境の変化に対して派生証券価格が理論的にはどのように反応するのかという情報を我々に与えてくれる。日々市場において取引を行っている市場参加者にとり、これらは非常に有益な情報になると考えられる。

2. 各章での議論の概要と得られた成果について

以下では各章ごとに、先行研究に対する議論の位置づけ、議論の概要および得られた成果について述べる。

2. 1. イントロダクション

(第1章 : イントロダクション)

本論文のイントロダクションとして、第1節では消費目的の商品の先物および先物オプションについて研究を行った動機と本論文の貢献について、第2節では先行研究のレビューと各章ごとの議論の位置づけ、そして第3節では本論文の構成について、それぞれ述べた。

2. 2. 商品先物価格データを用いたデータ分析

(第2章 : 商品先物価格とコンビニエンス・イールド)

Kaldor(1939)、Working(1948)らによって提唱されたコンビニエンス・イールドの概念に基づき、先物価格データからコンビニエンス・イールドを抽出してデータ分析を行ったのは、Brennan(1991)、Gibson & Schwartz(1990)、Schwartz(1997)、山内(1998)らである。

第2章では、まず第1節においてコンビニエンス・イールドの定義を行い、加えて消費目的の商品市場においてバックワーデーションがしばしば持続するメカニズムとコンビニエンス・イールドとの関係について論じた。第2節ではコンビニエンス・イールドには期間構造が存在することについて議論した。第3節では先行研究について概括し、議論の位置づけについて述べた。第4節ではGibson & Schwartz(1990)の抽出法を参考にした山内(1998)によるコンビニエンス・イールドの抽出方法について論じた。第5節ではNYMEXの原油先物価格、第6節ではTGEの小豆先物価格、第7節では同じくTGEの粗糖先物価格のそれぞれ日次データよりコンビニエンス・イールドの抽出を行い、それらがオルンスタイン＝ウーレンバック過程に従って変動しているか検証した。ここでの分析結果が第3章以降の商品派生証券価格式の導出におけるコンビニエンス・イールドの変動モデルについての仮定の現実的妥当性の根拠を与えている。そして第8節ではデータ分析結果の総括を行った。なお第5節での原油コンビニエンス・イールドについての分析結果は、山内(1998)で行われた議論

に基づいている。

＜データ分析により得られた成果＞

(1) コンビニエンス・イールドの変動モデルとしてオルンスタイン＝ウーレンベック過程を仮定することは、コンビニエンス・イールドが比較的穏やかに変動している時期においては現実的に妥当であるという結論を得た。一方、コンビニエンス・イールドが上昇トレンドを持っているとき、あるいは、コンビニエンス・イールドが著しく大きな値をとりながら激しく変動している期間においては、仮定は必ずしも妥当ではないことが示された。

(2) コンビニエンス・イールドの期間構造の特徴を示した。特に原油と小豆については長期的平均と平均への回帰スピード、およびヴォラティリティの変動の方向が一緒であったこと、コンビニエンス・イールドの期間が長くなるにつれて、およびがゼロに近づいていったことが示された。一方、粗糖に関しては、穏やかにコンビニエンス・イールドが推移していた期間②(コンビニエンス・イールドが上昇トレンドを持ち始める以前)においては同様の傾向が見られたが、それ以外の期間については3つのパラメーターの変動の方向に規則性は見出せなかった。

＜本論文でのデータ分析における問題点および今後の研究課題＞

(1) コンビニエンス・イールドの抽出法が現物価格を用いない間接的な方法であるため、現在から1ヶ月先までのコンビニエンス・イールドが得られないこと。これは現物価格を観測することが困難であるということに起因した問題である。妥協案として、本論文では第限月と第限月()の先物価格の比をとり、そこから金利の影響分を取り除くことによって第限月から第限月までのフォワード・コンビニエンス・イールドを抽出した後、時点を一つ前にずらす(つまり第限月から第限月のフォワード・コンビニエンス・イールドと見なす)ことによって、現在から第1限月までのコンビニエンス・イールドが推定できないという問題を回避した。ただし、原油先物を例に取るならば、原油先物の取引停止日から受け渡し開始日までの期間は10日から2週間程度であることから、この妥協策によって生じる誤差は大きいものではないと思われる。

(2) パラメーターを推定して残差を求めた結果、たとえ平均への回帰スピードがであった場合でも、すべての残差は独立同一分布に従っていないかった。これはオルンスタイン＝ウーレンベック過程に基づくモデルではコンビニエンス・イールドの時系列構造を説明しきれなかったことを示している結果であるとも考えられる。オルンスタイン＝ウーレンベック過程以外のモデルについて分析することは、今後の研究課題としたい。

(3) 原油コンビニエンス・イールドの分析において、期間に対応した金利を用いずにフラットな期間構造を想定したこと。これは複数の期間の金利データを入手できなかったことが原因である。これについては、複数の期間の金利データを入手した際に、それらの金利を用いて再びコンビニエンス・イールドを抽出し、今回の結果との比較を行いたい。

(4) 本論文でデータ分析の対象とした商品(エネルギー商品:原油、農産物:粗糖・小豆)に加えて、非鉄金属である銅、金、他の農産物なども分析対象に含め、出来るだけ多くの種類のコンビニエンス・イールドの時系列的特性および期間構造の特性を明らかにしていきたい。これを行うことによって、それぞれのコンビニエンス・イールドには共通変動が存在するのか、あるいは共通変動は存在せず(存在しても小さな影響しか及ぼさず)、むしろそれぞれのコンビニエンス・イールドが固有に変動している状況なのかが明らかになるであろう。そしてその結果をコンビニエンス・イールドの変動モデルの仮定に応用することができれば、商品および商品先物を原資産とする派生証券の価格式がより現実的なものになると考えられる。

2. 3. 商品派生証券価格式の導出

2. 3. 1. 第3・4・5章に共通した価格式導出の方法

第3・4・5章における、すべての商品派生証券価格式導出の議論では、まず標準的ノー・アービトラージュの議論を行って偏微分方程式を導き、そしてファインマン＝カッツの定理を利用して、偏微分方程式および派生証券の満期でのペイオフを満たす解である派生証券価格式を導いた。

2. 3. 2. 第3・4・5章の概要と得られた成果

(第3章 : コモディティ・リンク債券価格式の導出)

コモディティ・リンク債券はSchwartz(1982)によって価格式導出の枠組みが提示された。Carr(1987)はSchwartz(1982)を拡張したモデルの価格式を求めた。派生証券価格理論において、初めて不確定に変動するコンビニエンス・イールドのモデルを仮定して議論を行ったのは、Gibson & Schwartz(1990)である。Bjerkstrand(1991)ではGibson & Schwartz(1990)で導かれた偏微分方程式をもとに、解析的に商品先物価格式および商品現物オプション価格式を導いた。Miura & Yamauchi(1998)ではコモディティ・リンク債券価格式を解析的に導いた。そこでのモデルは、消費目的の商品現物価格と企業価値がそれぞれ対数正規過程に従い、ネットの限界のコンビニエンス・イールドと金利がそれぞれオルンスタイン＝ウーレンベック過程に従う、というものであった。このモデルはSchwartz(1982)およびGibson & Schwartz(1990)の拡張になっている。Miura & Yamauchi(1998)は債券発行企業が債券満期時にデフォルトする可能性を債券のペイオフの中に組み入れたため、比較的長期の資金調達的手段として利用されることが多いコモディティ・リンク債券の購入者が信用リスクに晒されている状況が価格式に反映されている。さらに彼らは債券発行企業が債券満期時にデフォルトを起こす確率を表現した。

第3章では、Miura & Yamauchi(1998)での議論に基づき、コモディティ・リンク債券価格式を導出した。まず第1節ではコモディティ・リンク債券価格式導出に関する先行研究について概括し、議論の位置づけを示した。第2節では仮定および記号の設定を行った。第3節では標準的ノー・アービトラージュの議論を行い、消費目的の商品現物価格、債券発行企業の企業価値、金利およびコンビニエンス・イールドの上に定義されたすべての派生証券が満たさなければならない偏微分方程式を導いた。第4節では、ファインマン＝カッツの定理を利用して、第3節で導いた偏微分方程式と満期での債券ペイオフを満たす解としてコモディティ・リンク債券

価格式を導出した。そして第5節では、コモディティ・リンク債券価格式導出の議論を応用して債券発行企業のデフォルト確率を表現した上で、金利一定の仮定をおいた場合のコモディティ・リンク債券価格式およびデフォルト確率計算式を改めて導き、市場データから推定したパラメータ値を代入して数値計算を行った。数値計算においては、コンビニエンス・イールドが激しく変動している場合と穏やかに変動している場合の2つのケースを想定し、第2章での原油コンビニエンス・イールドのデータ分析の結果より、それらにふさわしい推定値として3ヶ月コンビニエンス・イールドの期間②(湾岸戦争時)と期間③(湾岸戦争以降)の結果をそれぞれ代入した。現物価格には、観測が困難である原油現物価格の代理としてWTI原油現物価格のデータを用いた。ここで得られた主な成果は、コンビニエンス・イールドが穏やかに変動する状況の方が債券価格が高くなること、デフォルトの確率が非常に高まる状況になると、それに伴って債券価格が急落することであった。

(第4章 : 国内生産で消費の大部分をまかなっている商品を原資産とする商品先物価格式の導出)

Black(1976)によって先鞭が付けられたヨーロッパ型商品先物オプション価格式導出の議論は、その後より精緻なモデルへと進歩を重ねていった。Schwartz(1997)、Miltersen & Schwartz (1998)、Hilliard & Reis(1998)らは、商品現物価格、金利、コンビニエンス・イールドがそれぞれ不確実に変動するという仮定の下での商品先物および先物オプション価格式を導いた。山内(1998)は、Gibson & Schwartz(1990)、Bjerk Sund(1991)、および、Miura & Yamauchi (1998)で行われた議論の拡張として、消費目的の商品の現物価格が対数正規過程に、コンビニエンス・イールドと金利についてはそれぞれ異なるオルンスタイン＝ウーレンベック過程に従うという仮定をおき、そのもとで商品先物価格式を導いた。ここでの価格式導出における工夫は、Miura & Kishino (1995)によって提示された先物取引システムについて、商品を取引対象とした場合の価値を求めることで、商品先物価格を導いたことである。

第4章では、山内(1998)での議論に基づき、国内生産によって消費の大部分を賄っている商品を原資産とする商品先物価格式を導いた。まず第1節では先行研究の概括と議論の位置づけについて述べた。第2節では仮定と記号を設定した。第3節では、先物価格式を導く議論において利用する先物取引システムを示した。第4節では、標準的ノー・アービトラージュの議論を行って、消費目的の商品現物価格、コンビニエンス・イールド、および金利の上に定義されたすべての派生証券が従う偏微分方程式を導いた。そして第5節ではファインマン＝カッツの定理を利用して、導いた偏微分方程式と先物取引システムの先物限月における価値を満たす解を導き、そこから商品先物価格式を導いた。そして導いた価格式と、比較のためにコンビニエンス・イールド一定の仮定をおいて導いた価格式のそれぞれに対し、市場データから推定したパラメータ値を代入して両者の価格を計算し、比較を行った。現物価格とコンビニエンス・イールドについてのパラメータは、第3章と同じく、WTI原油現物価格、および期間①(データ分析期間全体)の原油コンビニエンス・イールドのデータから、金利についてはT-Bill3ヶ月物金利のデータから、それぞれ推定した。数値計算を行った結果、コンビニエンス・イールドが不確実に変動すると仮定したモデルの方が、バックワーデーションの程度がより大きくなることが示された。

(第5章 : 海外からの輸入に消費の大部分を依存している商品を原資産とする輸入商品先物価格式および輸入商品先物オプション価格式の導出)

さきに述べたとおり、商品現物価格、金利、そしてコンビニエンス・イールドが不確実に変動する場合の商品先物価格式の導出は、山内(1998)、Schwartz(1997)らによって行われた。原資産を通貨交換レートとする通貨オプション価格式はGarman & Kohlhagen(1983)、Grabbe(1983)、Hilliard, Madura, & Tucker(1991)、Amin & Jarrow(1991)らによって導かれた。相手国において流通する資産を原資産とする場合のオプションであるクロス・カレンシー・オプション価格式については、Rumsey(1991)、Wei(1995)らによって議論された。そしてある原資産についての派生証券の派生証券、である複合派生証券の価格式はGeske(1979)によって導かれた。ただし、商品現物価格、コンビニエンス・イールドおよび金利が不確実に変動すると仮定したもとの商品派生証券の価格式導出の議論、およびクロス・カレンシー・オプションの議論を融合した、輸入に消費の大部分を依存している商品についての先物および先物オプションの価格式を導く議論は未だ行われていなかった。

第5章では、第4章で議論した山内(1998)の商品先物価格式導出の議論、Hilliard, Madura, & Tucker(1991)らによる通貨オプションの議論、およびWei(1995)らによるクロス・カレンシー・オプションの議論、そしてGeske(1979)による複合オプションの議論の拡張として、輸入商品先物およびヨーロッパ型輸入商品先物オプションの価格式を導出した。仮定したモデルは、輸入相手国で取引されている消費目的の商品の現物価格と通貨交換レートがそれぞれ対数正規過程に従い、自国金利、相手国金利、およびコンビニエンス・イールドがそれぞれ異なるオルンスタイン＝ウーレンベック過程に従う、というものであった。なお導かれた輸入商品先物および輸入商品先物オプションの価格式には、相手国金利に関するパラメータは一切含まれていなかった。第5章第1節では、先行研究について概括し、議論の位置づけを示した。第2節では仮定と記号を設定した。第3節では、標準的ノー・アービトラージュの議論を行い、消費目的の商品の輸入相手国での現物価格、通貨交換レート、自国金利、相手国金利、およびコンビニエンス・イールドの上に定義されるすべての派生証券が従わなければならない偏微分方程式を導いた。第4節では、第4章での議論と同様にファインマン＝カッツの定理を利用して、第3節で導いた偏微分方程式と先物限月での先物取引システムのペイオフより、輸入商品先物価格式を導いた。第5節では、輸入商品先物の上に定義される輸入商品先物オプション価格式を導いた。そして第6節では、市場データより推定したパラメータ値をそれぞれの価格式に代入し、理論価格を計算した。データには、アメリカ市場の粗糖現物価格、円/ドル・レート、TIBOR12ヶ月物金利、および第2章で抽出した期間②の12ヶ月粗糖コンビニエンス・イールドを用い、これらのデータからそれぞれのパラメータを推定した。

この結果、輸入商品先物価格については、以下の結論が得られた。

- (1) 先物限月までの期間とコンビニエンス・イールドおよびそのヴォラティリティの増加によってバックワーデーションの程度が強まる。
 - (2) 金利の長期的平均とそのヴォラティリティの増加によってコンタンゴの程度が強くなっていく。
- 一方、輸入商品先物オプション価格については、以下の結論が得られた。
- (3) 先物限月までの期間が長くなるにつれてオプション価格は上昇する傾向にある。ただしが非常に長く、かつ先物価格のバックワーデーションの程度が大ききときには、オプション価格は低下する。

- (4) オプション満期と先物限月との時間差が長くなるにつれて価格は低下する。
- (5) 現物価格と通貨交換レートのヴォラティリティ^{*}の上昇に伴ってオプション価格は激しく上昇する。
- (6) オプション価格は、コンビニエンス・イールドの長期的平均への回帰スピードおよびヴォラティリティの増加の影響をほとんど受けない。
- (7) コンビニエンス・イールドの長期的平均の増加に伴い、コールの価格は急激に低下し、プットの価格は上昇する。
- (8) 金利のヴォラティリティが小さければ、金利の長期的平均への回帰スピードが増加しても、オプション価格はほとんど変化しない。
- (9) 金利のヴォラティリティの上昇に伴って、オプション価格は上昇する。
- (10) 金利の長期的平均の上昇によって、コール価格は上昇し、プット価格は低下する。
- (11) 多くの場合において、輸入商品先物価格の数値計算の結果を反映した形で、オプション・プレミアムが決まる。

2. 3. 3. 第3・4・5章に共通した、今後の研究課題

2. 3. 3. 1. 市場価格データと理論価格との比較・検討

第3章のコモディティ・リンク債券、第4章の商品先物、第5章の輸入商品先物および輸入商品先物オプションの議論においては、市場データから推定したパラメーター値をそれぞれの価格式に代入し、数値計算を行った。今後はこれらの価格式から求めた理論価格と、市場で取引された派生証券の価格データとを比較・分析していきたい。具体的には、理論価格と市場価格との差の平均と分散、あるいは平均絶対誤差などを計算し、どのような状態のときに誤差が大きくなるのか(輸入商品先物オプションについて、アット・ザ・マネーの時とアウト・オブ・ザ・マネーの時とを比較したとき、価格誤差の平均と分散に差はあるか否か、コンビニエンス・イールドが激しく変動しているときの商品派生証券の価格誤差は大きくなるか否か、など)を分析してみたい。これを行うことによって、現実の世界がどのような状態にあるときに価格誤差が小さく、どのような状態にあるときに価格誤差が大きくなるのかが明らかになるはずである。

2. 3. 3. 2. アメリカ型輸入商品先物オプション価格の評価

第5章で導いた輸入商品先物オプションはヨーロッパ型であった。しかし商品取引所に上場されている商品先物オプションはアメリカ型が多い。そこで今後の課題として、アメリカ型輸入商品先物オプションの価格の数値計算によって求めることに取り組んでみたいと考えている。そしてヨーロッパ型とアメリカ型の価格の乖離がどの程度あるのかについて、それぞれパラメーターを変化させながら比較・分析を行うことによって、乖離の程度と傾向を明らかにしたいと考えている。

2. 4. 商品派生証券を用いたリスク・ヘッジ

(第6章 : 商品派生証券と企業のリスク・ヘッジ)

第6章では、商品価格変動のリスクを抱える企業が、商品派生証券を用いてリスク・ヘッジを行う手法について議論した。第1節では、商品価格の不確実変動が企業の利益を変動させてしまう原因になることについて、メーカー企業と商品生産企業、それぞれの立場から論じた。そして第2節では、第3章から第6章にかけて議論した商品派生証券を用いたリスク・ヘッジの手法について議論した。商品価格変動のリスク・ヘッジの手段として利用しやすい商品先物および商品先物オプションについては、それらを組み合わせたポジションをとることによって、どのようなリスク・ヘッジが可能になるのかについて述べた。コモディティ・リンク債券については、長期的なプロジェクト・ファイナンスに適していること、財務部門と生産・営業部門が連携した全社的なリスク・ヘッジが可能になり、企業利益の安定化に役立つことを述べた。

今後の研究課題としては、本論文において導いた商品派生証券価格式を利用してリスク・ヘッジのシミュレーションを行い、これらリスク・ヘッジの手法が実際にどの程度有効なのかについて、つまり企業利益の安定化にどれだけ貢献するのかについて、具体的に結果を示して行きたい。

2. 5. 総括

(第7章 : 総括)

第7章では、第1節において第2章から第6章までの議論の概要および得られた成果についてそれぞれ述べ、第2節では今後の研究課題を挙げた。

*1 表2にもあるとおり、日本国内の商品先物オプションは、東京穀物商品取引所の大豆・粗糖・とうもろこし、関西商品取引所の粗糖、がそれぞれ上場されている。これらはいずれもアメリカ型のオプションである。

*2 先物市場で成立した売買契約の数量のこと。

*3 日本大豆輸入依存度は約98%といわれている。

*4 保有しているポジションと反対の取引をしてポジションを消滅させる取引のこと。

*5 全体消費量の約64%を輸入に依存している。

*6 ほぼ全量を輸入に依存しているともろこしについては、TGEの先物が世界の主要農産物先物出来高ベスト15のうち第6位に入っている。ちなみに、米国産大豆は第9位、粗糖は第15位である。

*7 コンビニエンス・イールドについては、詳しくは第2章第1節において論ずるが、『消費目的の商品の在庫を自由に処分できる権利に対して生ずる利得』と定義する。

*8 現物価格の観測が困難な理由については、第2章第3節において述べている。