

原油のファンダメンタル価格・プレミアムの推計と要因分解

—金融の側面から見たプレミアムの要因分解を中心に—

計量分析ユニット 需給分析・予測グループリーダー 柳澤 明

要約

原油のファンダメンタル価格、およびプレミアムに関する2つのモデルを用い、原油価格を定量的に要因分解し、影響分析を試みた。直近の2008年第1四半期においては、原油価格約100ドルのうち、ファンダメンタル価格は60ドル程度、プレミアムは40ドル程度であると考えられる。直近の半年間では、趨勢外の供給要因が6ドル弱、ファンダメンタル価格の上昇に寄与したと推計される。また、ドルの減価が15ドル強、株価の下落が3ドル強、プレミアムの拡大に寄与したと推計される。

1. はじめに

2004年ごろから始まった原油価格の上昇は今年で5年目に入った。2004年1月に1バレル34ドルであったWTI原油価格¹は、2008年5月下旬には130ドルを超え、4倍近くに高騰している。原油100ドル時代の本格的な到来、さらには200ドルの可能性を論ずる人々もいる。他の一次産品の価格上昇やサブプライムローン問題ともあいまって、世界経済への悪影響が散見されるようになっている。

図1 原油価格の推移



出所: 米国エネルギー省

¹ ニューヨーク・マーカントイル取引所に上場されている軽質低硫黄原油の先物(期近物)価格、終値ベース。以下、原油価格と記す。

今日の原油価格が、需給要因だけでは説明しきれないことは広く認められている。しかしながら、需給バランスなどの要素で決まる部分、すなわちファンダメンタル価格と、投資資金の流入などに起因するとされるそれ以外の部分、すなわちプレミアムがどの程度であるかについては、さまざまな解釈がある。さらに、これらを左右する種々の要素がそれぞれの程度の影響を及ぼしているのかについては、不明瞭な部分が多い。

本論文では、原油のファンダメンタル価格に関するモデルとプレミアムに関するモデルを用いることにより、原油価格を定量的に要因分解し、影響分析を試みた。

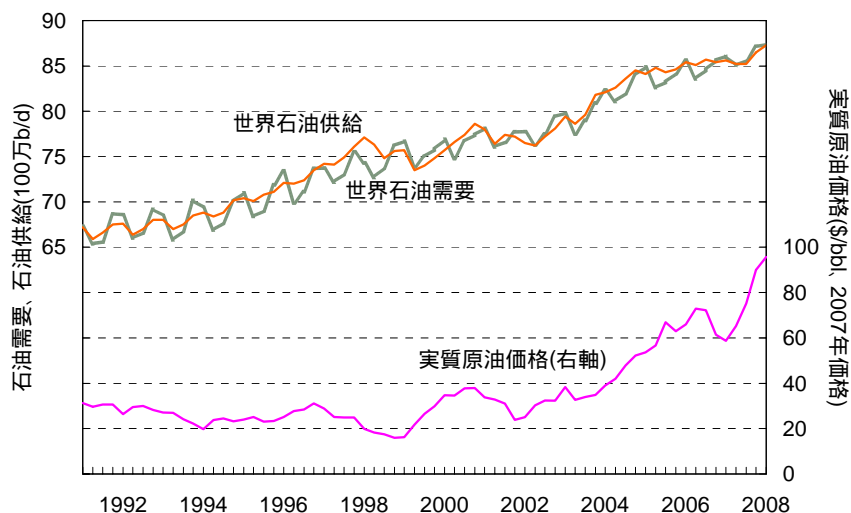
2. ファンダメンタル価格の推計

原油のファンダメンタル価格の推計は、柳澤(2008a)²と同様に、原油需要、原油供給、原油価格からなる構造型ベクトル値自己回帰モデル(Structural vector autoregressive model, 構造型VAR)により行った。モデルの内生変数 y としては、世界の石油需要量の対前年同期伸び率、世界の石油供給量の対前年同期伸び率、実質原油価格の対数を用いた³。原油価格の実質化は世界最大の石油消費国である米国のGDPデフレータを用いて行った。

$$y = \begin{pmatrix} \text{世界の石油需要の対前年同期伸び率} \\ \text{世界の石油供給量の対前年同期伸び率} \\ \log \text{実質原油価格} \end{pmatrix}$$

各変数の推移を図2に示す:

図2 ファンダメンタル価格モデルの変数の推移



出所: IEA 「Oil Market Report」(石油需給)、米国エネルギー省などより算出(原油価格)

² <http://eneken.ieej.or.jp/data/pdf/1626.pdf>

³ データの出所は以下の通りである:

世界の石油需要: IEA 「Oil Market Report」、世界の石油供給: IEA 「Oil Market Report」、原油価格: 米国エネルギー省、GDPデフレータ: 米国商務省。2008年第1四半期は実績推定値。

モデルは分析内容およびデータ制約を考慮して四半期ベースとした。推計期間は湾岸戦争による突発的な価格高騰の影響が解消した1992年第1四半期から直近の2008年第1四半期までとした。ラグ長は情報量規準⁴を参考に1期とした。モデル式を行列形式で示せば、

$$S_0 y_t = S_1 y_{t-1} + c + v_t \quad (1)$$

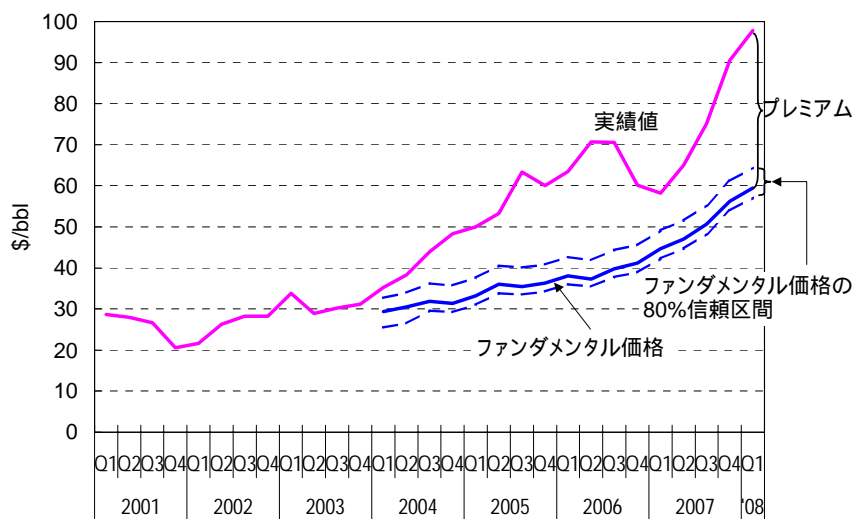
となる。ここで、 S は係数行列、 c は定数項ベクトル、 v はショック(誤差)ベクトルである。

各パラメータの推計値は以下の通りである:

$$\hat{S}_0 = \begin{pmatrix} 116 & 0 & -3.52 \\ 0 & 81.0 & 0 \\ 0 & -11.3 & 10.2 \end{pmatrix}, \hat{S}_1 = \begin{pmatrix} 36.2 & 29.0 & -3.61 \\ 9.67 & 58.8 & 0.204 \\ 38.2 & -36.4 & 10.2 \end{pmatrix}, \hat{c} = \begin{pmatrix} 1.07 \\ -0.499 \\ 0.0693 \end{pmatrix}$$

ファンダメンタル価格は、得られたモデルにおいて原油価格に関するショックを控除することで推計した。その結果を図3に示す。直近の2008年第1四半期においては、ファンダメンタル価格は60ドル程度と推計された。原油価格実績値が98ドルであったことから、プレミアムは40ドル程度であると考えられる。

図3 ファンダメンタル価格とプレミアム



注: 80%信頼区間⁵は、計算出発点を変えた(今次の原油価格高騰が本格化する直前の2003年第4四半期~その10期前の2001年第3四半期) 10の試算のうち、平均値に近い8つの結果が含まれる範囲。推計の「幅」である。

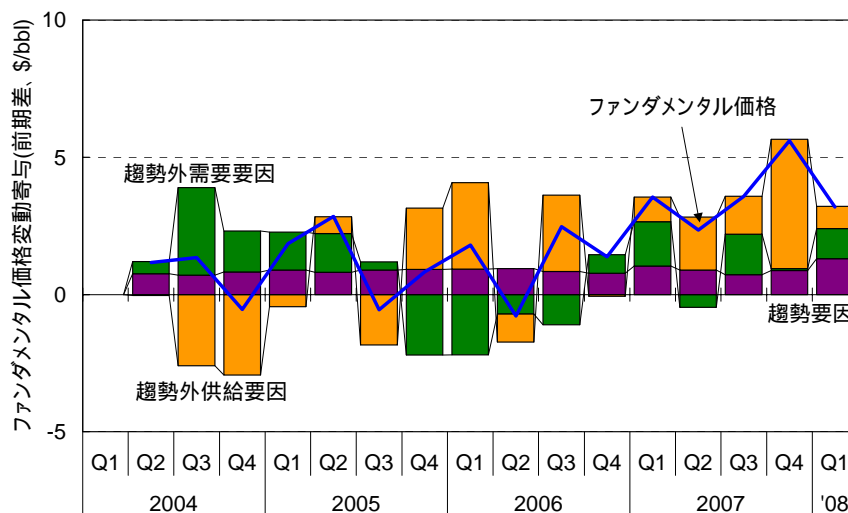
また、ファンダメンタル価格の対前期変化分を、その構成要素である趨勢要因、趨勢外の需要要因、趨勢外の供給要因に分解した結果を図4に示す。平均するとファンダメンタル価格は毎期2ドル弱上昇しているが、そのうち趨勢要因が1ドル弱、趨勢外の需要・供給要因が合わせて1ドル程度と推計される。直近の半年間(2007年第4四半期および2008年第1

⁴ あてはまりのよさとモデルの自由度とのバランスから見て、複数の候補のうち、良好と考えられるモデルを選択するための指標。

⁵ 確率分布に基づく厳密な信頼区間とは異なる。

四半期)においては、供給の増加が乏しかったことから、趨勢外の供給要因が累積で6ドル弱、ファンダメンタル価格の上昇に寄与したと推計される。

図4 ファンダメンタル価格変動(対前期)の要因分解



3. 金融の側面から見る原油価格

原油価格の高騰には投資資金の流入などが大きく影響しているといわれている。そこで、金融工学の視点から、原油価格をとりまく環境を眺めてみることにする。

3.1 分散投資の効果

本節では、現代ポートフォリオ理論の礎となっている、分散投資によるリスク低減効果について触れる。

金融工学のもっとも基本的な考え方では、よい資産の構成(ポートフォリオ)とは、期待収益率が高く、かつリスクの小さいポートフォリオである。また、このリスクとしては、期待収益率のばらつき、すなわち標準偏差(ボラティリティ)を一般に用いる^{6,7}。例えば、国債は満期まで保有すれば期待収益率が実現することが確実であるから、無リスク資産とみなされる。これに対し、株式などは、実際に得られる収益率が期待収益率を下回る、あるいは上回ることがあるため、リスク資産である。株式の中でも、電力株、鉄道株、医薬品株などは、収益率のばらつきが比較的小さいことからリスクが相対的に小さく、一方、情報通信株、証券業株などは、収益率のばらつきが比較的大きいことからリスクが相対的に大きいとされる。

さてここに、ハイリスク・ハイリターンな資産A(期待収益率 μ_A 、リスク σ_A)とローリス

⁶ 「石油の途絶リスク」や「地政学リスク」というときのリスクとは異なる。

⁷ リスクとして他によく用いられるものにバリュー・アット・リスク(Value at Risk, VaR)がある。

ク・ローリターンな資産B (期待収益率 μ_B 、リスク σ_B)があるとする(すなわち $\mu_A > \mu_B$ 、 $\sigma_A > \sigma_B$)。仮に、手堅い投資家が資産Bのみからなるポートフォリオを構築した場合、当然ながら期待収益率は μ_B 、リスクは σ_B となる。しかし、資産AとBとへの適切な分散投資により、よりよいポートフォリオ、すなわちローリスク・ローリターンな資産Bよりも期待収益率が高く、かつリスクの小さなポートフォリオを組むことができる。

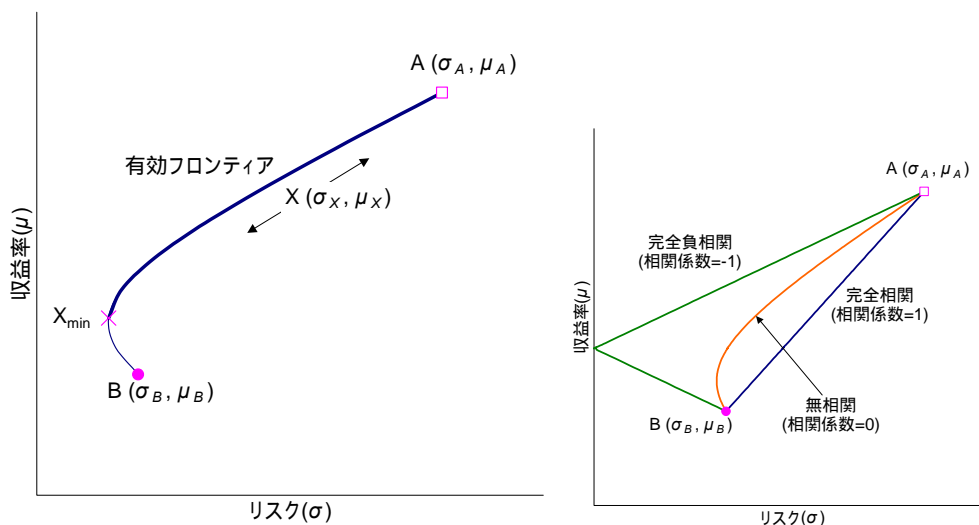
いま、資産Aへの投資比率を w 、資産Bへの投資比率を $1-w$ とするポートフォリオXを組むものとする。このポートフォリオXの期待収益率 μ_X とリスク σ_X は、

$$\mu_X = w\mu_A + (1-w)\mu_B \tag{2}$$

$$\sigma_X = \sqrt{w^2\sigma_A^2 + (1-w)^2\sigma_B^2 + 2w(1-w)\text{cov}(A,B)} \tag{3}$$

となる。ここで、 $\text{cov}(A,B)$ は資産Aの収益率と資産Bの収益率の共分散⁸である。 w を変化させると、ポートフォリオXの期待収益率 μ_X とリスク σ_X は図5の曲線AB上で変化する。このうち、例えばポートフォリオ X_{\min} は、資産Bより期待収益率が高く、リスクが小さい、よいポートフォリオとなっている。資産Aと資産Bの収益率の相関が低いとき、適切な分散投資によりポートフォリオのリスクを低減させることができ、特に負の相関(相関係数が負)となっているとき、リスク低減効果が大きい。

図5 分散投資による期待収益率とリスクの変化



なお、ポートフォリオとして選択される価値があるのは、曲線 $X_{\min}A$ 上にあるポートフォリオのみである。なぜなら、曲線 $X_{\min}B$ 上にあるポートフォリオは、同じリスクでより高い期待収益率のポートフォリオが曲線 $X_{\min}A$ 上に存在するためである。この曲線 $X_{\min}A$ を有効フロンティアという。

⁸ 共分散を各標準偏差で除した $\frac{\text{cov}(A,B)}{\sigma_A\sigma_B}$ が相関係数である。

3.2 オルタナティブ投資資産としての原油

株式、債券などの伝統的投資資産以外への投資をオルタナティブ投資という。商品、不動産、ヘッジファンドなどへの投資が代表的で、急速に拡大しているとされる。

オルタナティブ投資に資金が集まっている要因の1つは、その高い収益率である。1991年1月から2008年3月までのデータに基づき、原油と株式(ダウ工業株30種平均)の月次の超過収益率⁹とリスクを比較すると表1の通りとなる。原油は単に株式を大幅に上回る高い収益率を記録しているだけでなく、リスク調整後のリターンを表すシャープレシオ¹⁰で見ても株式と同程度である(むしろ若干上回っている)。原油はコモディティ化の進展で投資環境が充実してきたこともあり、効率の良い投資資産であるとみなされようになった。

表1 原油と株式の超過収益率とリスク

| | 原油 | 株式 |
|--------------|------|------|
| 平均超過収益率(年率%) | 47.6 | 12.9 |
| リスク(%) | 137 | 46.1 |
| シャープレシオ | 0.35 | 0.28 |

注: キャピタルゲインを対象に計算。配当や限月乗り換えによるゲイン(ロス)は含まない。

また、もう1つの要因としては、オルタナティブ投資資産と伝統的資産の相関の低さがあげられる。前節で見たように、相関の低い資産をポートフォリオに組み込むことにより、リスクを低減させることができる。前述のデータに基づけば、株式と原油の超過収益率の相関係数は-0.01と、ほぼ無相関となっている。株式の収益がふるわないときでも、原油の収益は確率的にはそれに引きずられなかったわけである。つまり、株式と原油とに分散投資を行うことで、ポートフォリオの収益率を高め、リスクを小さくすることが期待できる。

3.3 最適ポートフォリオ

いま、手堅い投資家が2つのリスク資産A、Bと無リスク資産 R_f からなるポートフォリオを組むものとする。上述の通り、リスク資産のポートフォリオとして選択される価値があるのは、有効フロンティア上にあるポートフォリオである。さらに、無リスク資産へも投資をする場合、リスク資産の最適なポートフォリオは、図6に示すような接点ポートフォリオPであることが知られている。投資家はリスク許容度に応じ、無リスク資産と接点ポートフォリオへの投資比率を変えることになる。ここで重要なのは、リスク資産のポートフォリオとして選択されるのは、接点ポートフォリオのみであるということである。

前述のデータに基づけば、接点ポートフォリオにおける原油への投資比率はおよそ30%と計算される¹¹。現実に3割も原油に投資している投資家は、ヘッジファンドや商品中心の

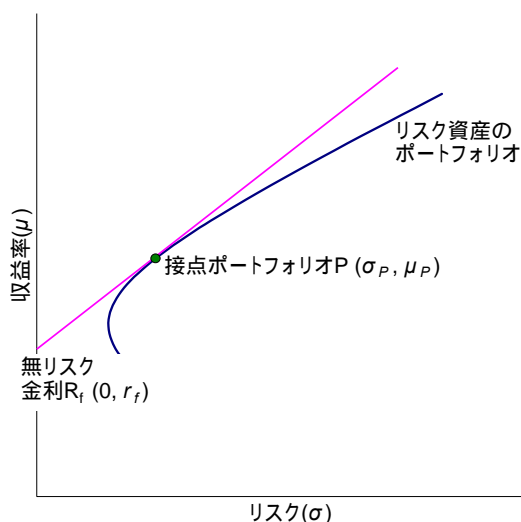
⁹ 収益率から無リスク資産の収益率(ここでは米国債2年物利回り)を差し引いたもの。

¹⁰ シャープレシオ=超過収益率÷リスク。

¹¹ 期待収益率やリスクの想定値、リスクとしてボラティリティでなくVaRを採用することなどにより、投資比率は異なったものになる。また、ここでの計算は単純化したモデルに基づいていることに注意。

投資家などを除けばまれである。しかし、この最適ポートフォリオをポテンシャルとして解釈すると、原油市場へのさらなる投資資金の流入の可能性が示唆される。

図6 接点ポートフォリオ



3.4 オプション・プレミアムに見る市場の期待

ここまでは、現代ポートフォリオ理論に基づき、原油への投資について眺めてきた。本節では、これを少し離れ、今次の原油価格高騰局面で指摘されている、「値上がりすると思うから買う、買うから上がる」という自己実現的な要素について考える。この市場の期待については、柳澤(2008b)¹²と同様に、オプション・プレミアムから推計を行う。

オプションとは、ある原資産を将来、事前に決められた価格(行使価格)で買う、または売ることができる権利である。買う権利をコール・オプション、売る権利をプット・オプションという。オプションは経済的価値を有しており、その価値をオプションのプレミアムと呼ぶ。ニューヨーク・マーカンタイル取引所ではWTI原油先物を原資産とするオプションが取引されている。

先物価格が原資産の予測将来価格の平均値に関する情報を与えるのに対し、オプションのプレミアムからは予測将来価格の分布に関する情報を得ることができる。その代表例としては、ブラック・ショールズ方程式と市場から得られるヨーロッパアン¹³・コール・オプションのプレミアムから推計した予測将来価格のばらつき(インプライド・ボラティリティ)がある。

しかし、ブラック・ショールズモデルでは原資産価格が対数正規分布に従うことを事前に仮定しているため、分布に基づく情報として得られるのはインプライド・ボラティリティのみである。予測将来価格の分布が偏っているとか、裾が厚い(fat tail)などの情報は得る

¹² <http://eneken.ieej.or.jp/data/pdf/1659.pdf> より一部入手可。

¹³ 満期日のみに権利行使できるオプションをヨーロッパアン・オプション、満期日までの期間に権利行使できるオプションをアメリカン・オプションという。

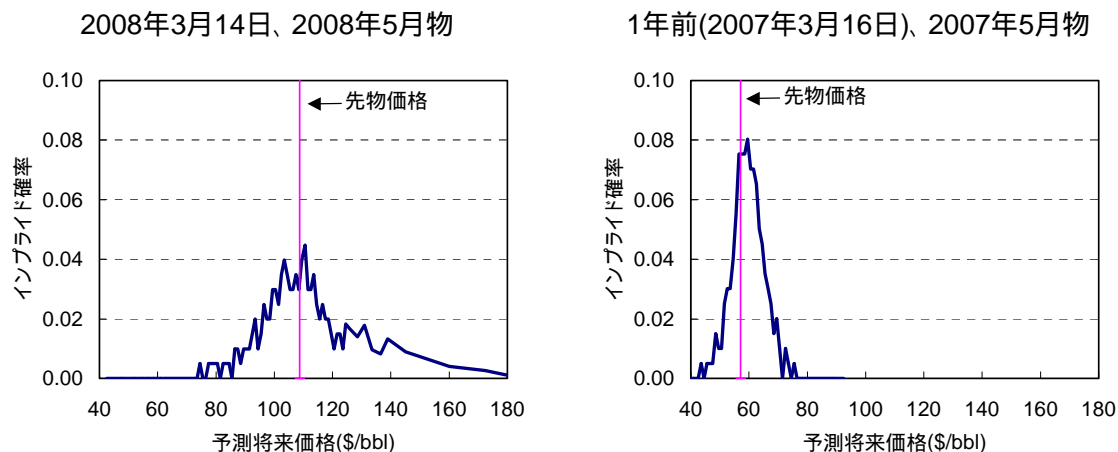
ことができない。そこで、オプションの行使価格とプレミアムから予測将来価格の分布(リスク中立インプライド確率分布)そのものを推計し、そこから市場における期待を分析する。

例えば、原油価格は2008年3月上旬に最高値(当時)を連日更新していたが、予測将来価格の分布(図7左)からは市場の予想が必ずしも強気一辺倒ではなかったように見受けられる。その1年前(図7右)と比較すると、

- ・ばらつきが大きく(ボラティリティが大きく)、先行きに対して確信を持っていない、
 - ・裾が厚く(尖度¹⁴が大きく)、将来大きな変動が起こりやすいと見ている、
- そうした中で

・分布が左に厚く、右に裾が長い(歪度が正)ことから、価格下落が意識されていることが明確に読み取れる。その背景には、景気減速による実需減退観測の再燃や、あまりに急速な価格上昇に対する不安感などがあったと考えられる。実際、このときは、原油価格は翌週にかけて調整局面に入った。

図7 予測将来価格の確率分布(2008年3月14日、2007年3月16日)

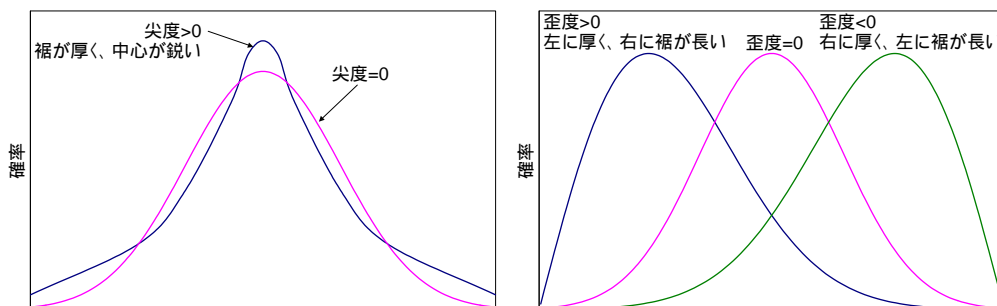


ボラティリティ=0.12, 歪度=+0.13, 尖度=1.14 ボラティリティ=0.09, 歪度=-0.30, 尖度=0.42

¹⁴ 尖度と歪度: 尖度は分布の裾の厚さと中心の尖りを現す。(超過)尖度が正であることは、裾が厚いと同時に、中心が鋭いことを示す。

歪度は分布の非対称性を表す。歪度が正であることは、分布が左に厚く、右に裾が長いことを示す。逆に、歪度が負であることは、分布が右に厚く、左に裾が長いことを示す。

正規分布は歪度、尖度ともに0である。金融データでは、歪みがあり、対数正規分布より裾が厚い分布に従うものが多い。



4. プレミアムに関するモデルの構築

4.1 モデル構造

今日の原油価格の高騰が、需給要因だけでは説明しきれないことは広く認められている。しかしながら、特にプレミアムについては、各要素がどの程度の影響を及ぼしているのかわからない部分が多い。そこで、プレミアムに関するモデルを構築することにより、定量的に要因分解することを試みる。

一般にプレミアムは投資資金の影響が大きいとされていることから、前章に記したような金融の視点を意識してモデルを構築する。具体的には以下に示す単一方程式によるモデルである：

$$\log \frac{WTI}{FND} = \beta_0 + \beta_1 \log DJI + \beta_2 TS + \beta_3 \log USDIDX + \beta_4 SPEC + \beta_5 SKEW + \beta_6 \log STOCK + \beta_7 TIME \quad (4)$$

ここで、

WTI : 原油価格(ドル/バレル)

FND : 2章で推計したファンダメンタル価格(ドル/バレル)

DJI : ダウ工業株30種平均(ドル)、以下「株価」

TS : 米国債2年物利回り(%), 以下「金利」

USDIDX : ドル名目実効レート(1973年3月=100)、以下「為替」

SPEC : 投機筋買い越し(100万枚)、以下「投機筋」

SKEW : 3章で推計したインプライド歪度、以下「期待」

STOCK : 米国民間原油在庫(10億バレル)、以下「原油在庫」

TIME : タイムトレンド、以下「トレンド」

である¹⁵。

原油価格 *WTI* はファンダメンタル価格 *FND* とプレミアム *PREM* の和、

$$WTI = FND + PREM \quad (5)$$

であるから、(4)式左辺の $\frac{WTI}{FND}$ は、ファンダメンタル価格に対するプレミアムの比に1を加

えたものである(以下、「プレミアム比」と記す)。原油価格(ファンダメンタル価格)の上昇に伴い、プレミアムのボラティリティも拡大していることから、このようにプレミアム比による定式化を行った。

各説明変数に期待される符号条件は以下の通りである：

株価 *DJI* : [-]

一般に、原油は株式と無相関、あるいは負の相関関係にあるとされ、オルタナテ

¹⁵ データの出所は以下の通りである：

原油価格: 米国エネルギー省、ダウ工業株30種平均: ニューヨーク証券取引所、米国債2年物利回り: 米国連邦準備理事会、ドル名目実効レート: 米国連邦準備理事会、投機筋買い越し: 米国商品先物取引委員会資料より算出、米国民間原油在庫: 米国エネルギー省。

イブ投資として原油が注目される要因となっている。資本・資産価格モデル(CAPM)、裁定価格理論(APT)¹⁶より負となることが期待される。

金利 *TS* : [+]

CAPMよりリスク資産の収益率は、無リスク金利より高いことが期待される。

なお、実物の視点からは、高金利は経済減速の要因であり、需要の減退を通じて原油価格下落圧力になるとされるが、ここではその効果はファンダメンタル価格に織り込まれているものとみなす。

為替 *USDIDX* : [-]

ドル名目実効レートが小さな値であることは、ドルが弱いことを表す。ドルの減価は外貨建てで評価した原油価格の割安感を醸成し、原油価格上昇を誘発するとされる。

投機筋 *SPEC* : [+]

今次の原油価格上昇において、投機筋の買い越しは原油価格上昇を誘発してきたとされる。

期待 *SKEW* : [-]

市場の期待としてインプライド確率分布より計算した歪度を採用する。歪度が負であることは、市場の期待が原油価格上昇に向いていることを表す。

原油在庫 *STOCK* : [-]

在庫増は需給の緩和の表れであり、原油価格下落圧力とされる。市場においても注目度の高い指標である。

トレンド *TIME* : [±]

相場のトレンド(テクニカル分析でいうサポートやレジスタンス)などを表すため、特に期待される符号条件はない。

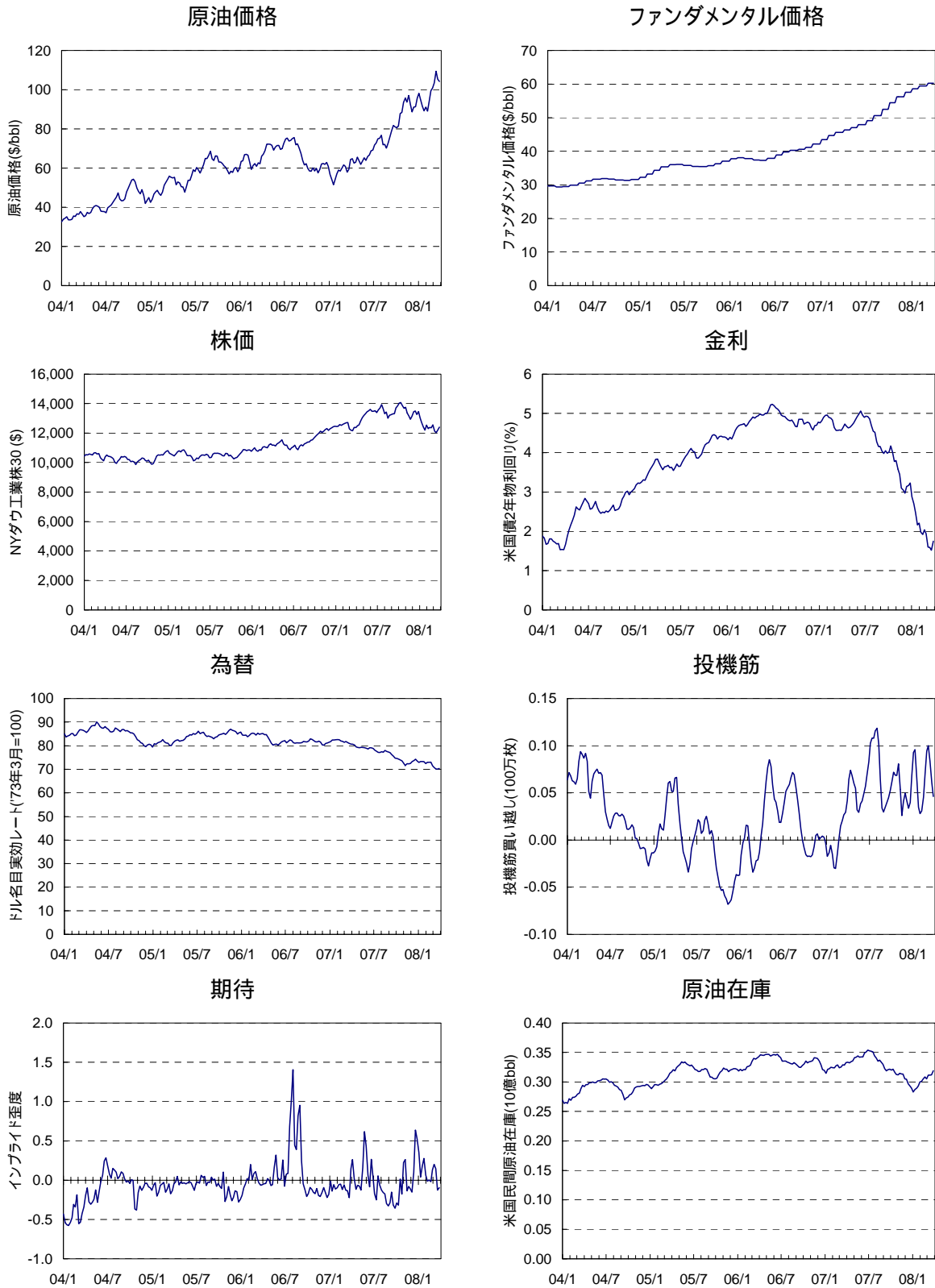
推計期間は今次の原油価格高騰が本格化したと考えられる2004年初からデータ入手が可能な直近の2008年3月までである。

なお、金融市場のスピード感を考慮すれば、モデルはできるだけ短期のデータで構築することが望ましいとも考えられるが、データの入手可能性や株価、原油価格におけるノイズ(テクニカル分析でいう騙し)なども考慮して週ベースとした。ファンダメンタル価格は、四半期ベースのモデルから計算した値にスプライン補間を適用することにより月次データを推計¹⁷、各月中においては一定とした。各変数の推移を図8に示す。

¹⁶ 資本・資産価格モデル(CAPM)、裁定価格理論(APT)の概説は補論参照。

¹⁷ 四半期ベースのファンダメンタル価格系列をそれぞれの中央月(第1四半期なら2月)の値と見なし、これらを通る滑らかな曲線(スプライン曲線)を想定して、前後の月(第1四半期なら1月、3月)の値を補間した。このため、月次データへの分解において多少の誤差が生じている。

図8 プレミアムモデルの各変数の推移



出所: 米国エネルギー省(原油価格、原油在庫)、ニューヨーク証券取引所(株価)、米国連邦準備理事会(国債利回り、ドル実効レート)、米国商品先物取引委員会(投機筋)、他

4.2 固定的な価格決定構造を想定した推計

全期間(2004年初～2008年3月)を通じ、原油価格の決定構造が一定であったものと考えた場合、(4)式に最小二乗法を適用することで各パラメータを得ることができる。その推計結果は以下の通りである。係数下のカッコ内は*t*値である。

$$\log \frac{WTI}{FND} = 28.3 - 2.44 \log DJI + 0.103 TS - 1.55 \log USDIDX + 0.893 SPEC - 0.0169 SKEW - 0.446 \log STOCK + 0.0025 TIME \quad (6)$$

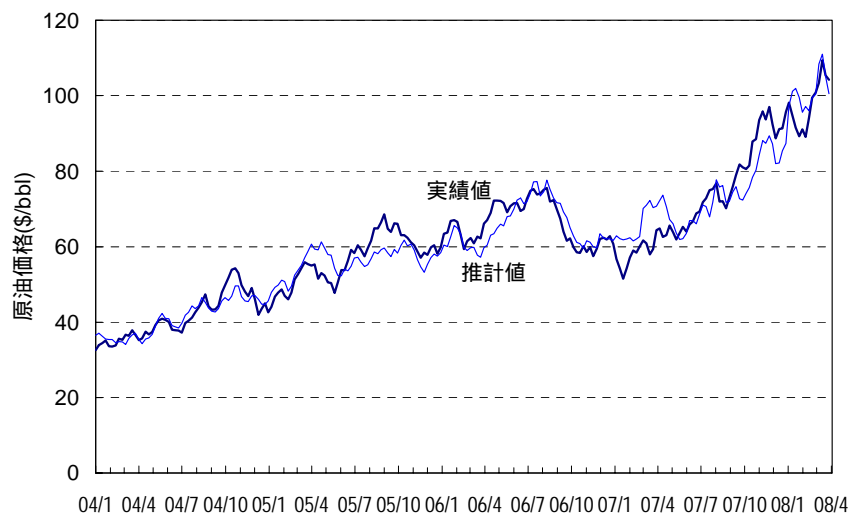
(18.2)
(-18.3)
(9.67)
(-7.23)
(5.63)

(-0.75)
(-2.86)
(8.95)

決定係数 R^2 : 0.739, F 値: 86.5

いずれの変数も期待される符号条件を満たしている。決定係数は0.74であるが、推計対象が変動の激しい価格であることを考慮すれば、十分な結果であるといえよう¹⁸。

図9 固定的な価格決定構造を想定した推計値



回帰係数から算出した原油価格(プレミアム比)に対する各要素の弾性値¹⁹は表2の通りとなる。推計期間を通してみると、株価および為替の変化に対する感度が大きかったことが分かる。

¹⁸ 変数別では、歪度のみ統計的に有意となっていない。その解釈としては、原油先物市場が効率的である、株価や投機筋などの要素に左右される期待は多重共線の影響を受けやすい、などが考えられる。

¹⁹ ある変数のみが1%増加した場合の原油価格の変化率(%)。

表2 各要素の原油価格に対する弾性値

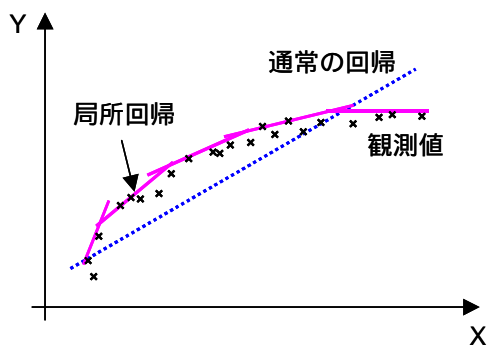
| 要素 | 弾性値 |
|------|---------|
| 株価 | -2.44 |
| 金利 | +0.38 |
| 為替 | -1.55 |
| 投機筋 | +0.02 |
| 期待 | -0.0006 |
| 原油在庫 | -0.45 |

4.3 価格決定の構造変化を織り込んだ推計

通期固定では前節のような結果となったが、原油価格の決定構造がこの4年余りの間、不変であったとは考えにくい。原油価格の動向とその時々で材料として取り上げられたニュースの変遷を振り返ると、むしろ、原油価格の決定構造は変化してきたと考えるのが自然であろう。

構造変化を織り込んだ推計方法としては、ダミー変数の使用などもある。本論文では、連続的な構造変化を表現するために、ノンパラメトリック回帰²⁰の1つである局所回帰を用いた。局所回帰のイメージは図10に示す通り、推計対象を適当な範囲に分け、それぞれの区域で回帰をするような方法である。

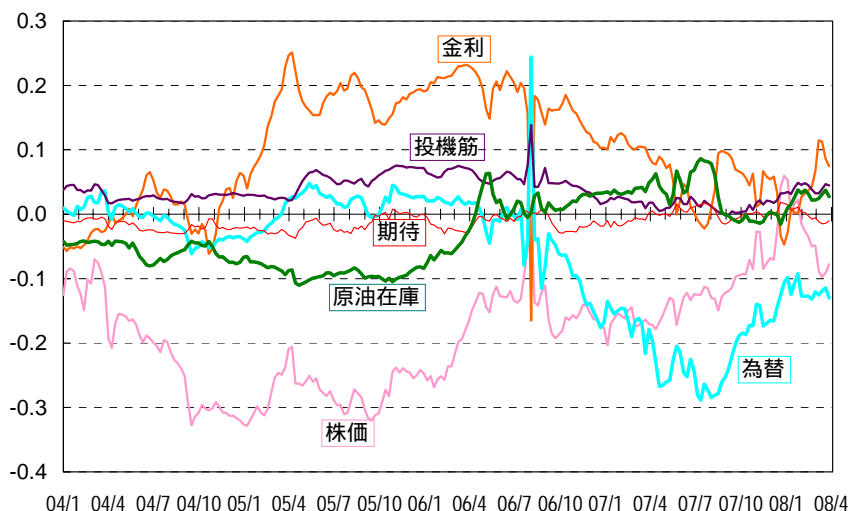
図10 局所回帰のイメージ



局所回帰により推計された係数を図11に示す(係数、ならびに係数の変化のマグニチュードを比較できるように、各説明変数を平均0、分散1に基準化して推計してある)。

²⁰ ノンパラメトリック回帰とは、パラメータを用いない回帰ではなく、パラメータ化をしない回帰ということができる。通常のパラメトリック回帰においては、分析対象のふるまいを、なるべく少ない数の回帰係数で表現するように志向されている(パラメータ化)。一方、ノンパラメトリック回帰は、回帰係数の数を節約せず分析対象のふるまいを表現しようとするものである。

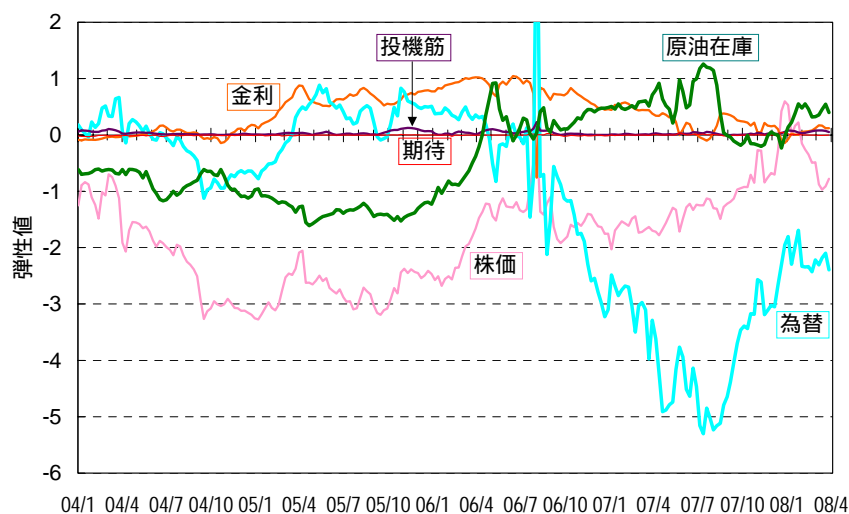
図11 価格決定の構造変化を織り込んだ回帰係数



また、係数から算出した原油価格(プレミアム比)に対する各要素の弾性値を図12に示す。要素によっては、かなりオーバーシュートとなっている時期があることが分かる。在庫については符号条件を満足していない時期もあるが、これはその当時、市場で価格材料として認識されていなかったためと推察される。

2006年初までは、株価、原油在庫が材料として重視されていたが、その後はこれらの要素の影響は小さくなっていった。サブプライム問題の深刻化でドル安が進行した2007年は、為替に注目が集まっていた様子が伺える。投機筋の動向は係数ベースでは2007年初までは一定の影響があったものの、その後は特段、材料とはされなくなってきている。

図12 価格決定の構造変化を織り込んだ弾性値



原油価格に対する各要素の影響として、よりイメージの湧きやすい形で表現したものが

表3である:

表3 各要素の原油価格に対する影響イメージ

| 要素 | 株価 | 金利 | 為替 | 投機筋 | 原油在庫 | |
|-------------|----------|---------|--------|--------------|----------------|--------|
| 想定変化 | \$500下落 | 0.25%上昇 | 5%減価 | 2万枚 買い越し増 | 1,000万 bbl減 | |
| 原油価格 の変化 | '04年3月下旬 | +\$2 | (-\$0) | (-\$1) | +\$1 | +\$1 |
| | '05年3月下旬 | +\$6 | +\$3 | (-\$1) | +\$1 | +\$2 |
| | '06年3月下旬 | +\$5 | +\$4 | (-\$1) | +\$2 | +\$1 |
| | '07年3月下旬 | +\$4 | +\$1 | +\$11 | +\$1 | (-\$1) |
| | '08年3月下旬 | +\$3 | +\$2 | +\$12 | +\$2 | (-\$1) |

注(1): 想定変化率は各要素で共通ではない。

注(2): カッコ内は符号条件を満たしていないもの。市場で価格材料として認識されていなかったためと推察される。

注(3): 各要素間の連関は考慮していない。

原油価格に対する影響としては、投機筋の2万枚の買い越し増で1~2ドル程度の上昇寄与、原油在庫も1,000万バレル減で0~2ドル程度と比較的安定している。これに対し、株価、金利、為替は同じ変化に対しても時期により影響が大きく異なっており、市場の注目する材料が次々と代わっていったことが推察される²¹。株価、為替は弾性値の変化が大きいうえに、そもそも株価、為替自体のボラティリティも大きい。金融市場における現在の不安定な情勢を鑑みれば、これらは今後もしばらく原油価格の攪乱要因となる見込みである。

なお、ここに示した影響度は、各要素が単独で変化した場合のものである。現実には、株価の下落が投機筋の買い越し増や為替の減価につながったり、あるいは逆に商品市場への資金の流出が株価下落や金利の変動を誘発したりするなど、相互に影響し合っている。その意味では、表3の示す各要素の原油価格に対する影響は、一面のみを評価していることに注意が必要である。

4.4 プレミアムの要因分解

前節で推計したパラメータを用いて、プレミアムの要因分解を行う。プレミアムの水準を対象に要因分解を行うことができれば、より直感的な結果を得ることができる。しかしながら、それには、例えばプレミアムもディスカウントも誘発しない株価や為替レートなどがいくらであるかを設定する必要がある。現実世界では無数の経済要因が互いに連鎖しながら決定されていることから、そのような基準点を設定することは困難である。

そこで本論文では、プレミアムの水準ではなく、変動(対前四半期)を対象にしてプレミアムの近似的な要因分解を行う。すなわち、各説明変数に前四半期の平均値を代入して計

²¹ やや穿った見方をすれば、原油価格上昇の材料は何にでも求めることができるともいえる。

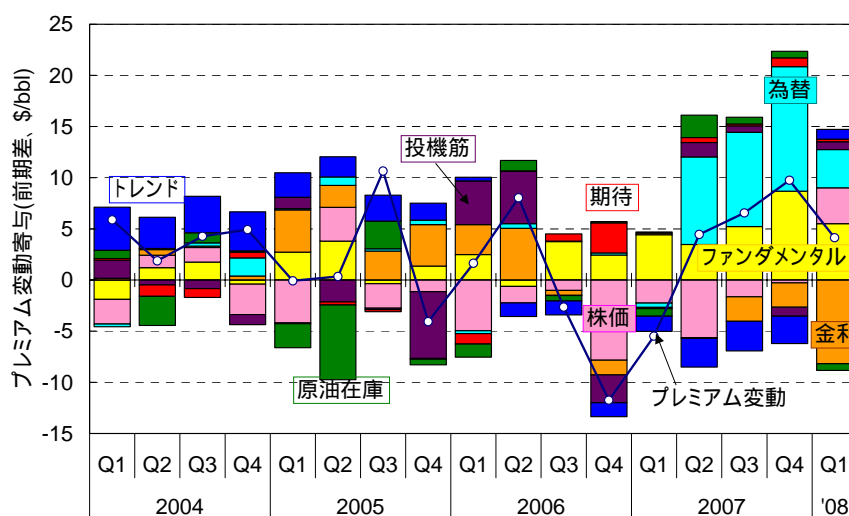
算した場合のプレミアムと、実績値を代入して計算したプレミアムから、プレミアムの変動に対する各要素の寄与を推計する。例えば、プレミアム $PREM$ に対する株価 DJI の今期の寄与を、

$$\text{株価}DJI\text{の寄与} = PREM(DJI, TS, USDIDX, \dots) - PREM(\overline{DJI}, TS, USDIDX, \dots) \quad (7)$$

により推計する。ここで、 $PREM(\dots)$ は(4)式をプレミアムについて解いた式、 \overline{DJI} は株価 DJI の前四半期の平均値である。

要因分解の結果は図13の通りである。

図13 プレミアム変動(対前期)の要因分解



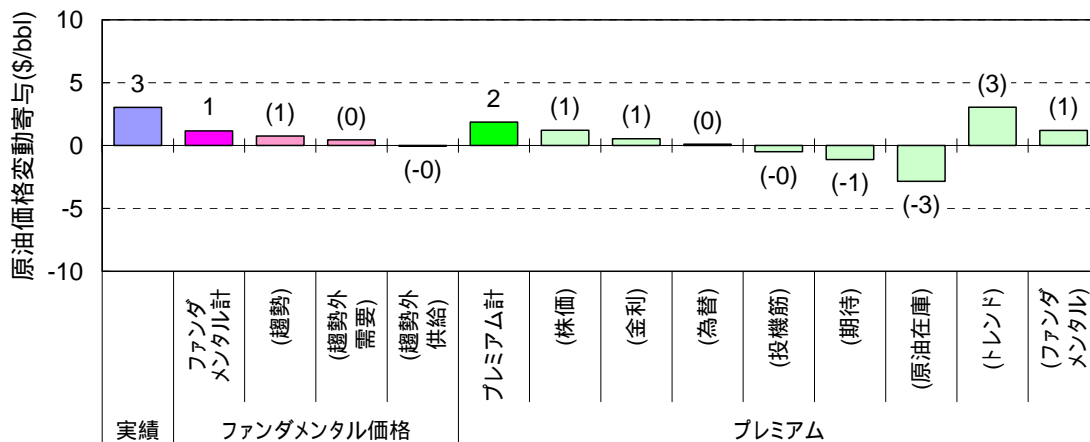
注: 交絡項、モデル誤差などのため内訳の計と合計が合わない部分がある。

時期により、プレミアム変動に寄与している要素は、めまぐるしく変化してきた。ただし、そのなかでも、株値、為替、ファンダメンタル価格の影響は大きかったといえよう。平均するとプレミアムは四半期毎に2ドル強拡大しているが、2006年まではそのうち金利が2ドル弱、ファンダメンタル価格が1ドル強の拡大寄与、株値が2ドル弱の縮小寄与となっていたものと推計される。直近の半年間(2007年第4四半期および2008年第1四半期)においては、ドルの減価が累積で15ドル強、株値の下落が同3ドル強、ファンダメンタル価格の上昇も同15ドル弱、プレミアムの拡大に寄与したと見られるのが特徴的である。

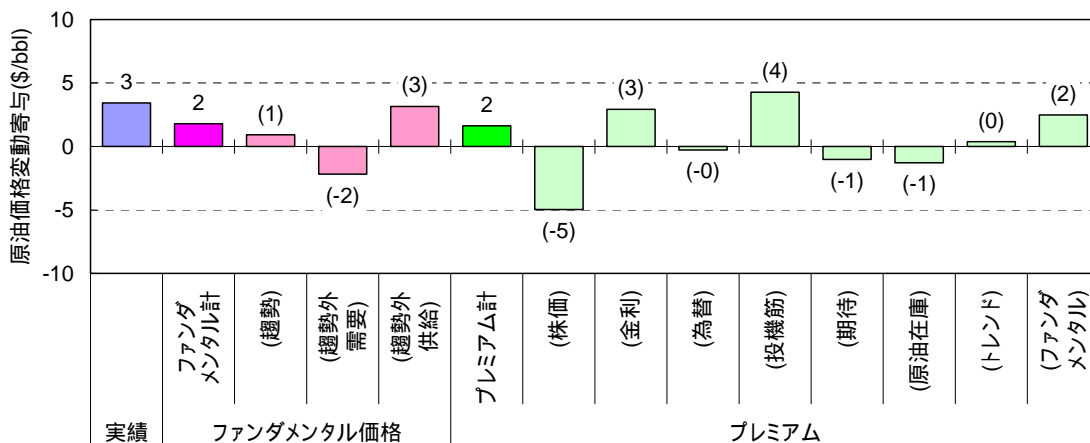
5. 原油価格変動のまとめ

ファンダメンタル価格、プレミアムの要因分解をまとめると、図14のようになる。時期により、増減に寄与している要素が変化しているのが見て取れる。換言すれば、その時々に応じた対策でない限り、原油価格の上昇を抑制する効果はあまり期待できないということになる。

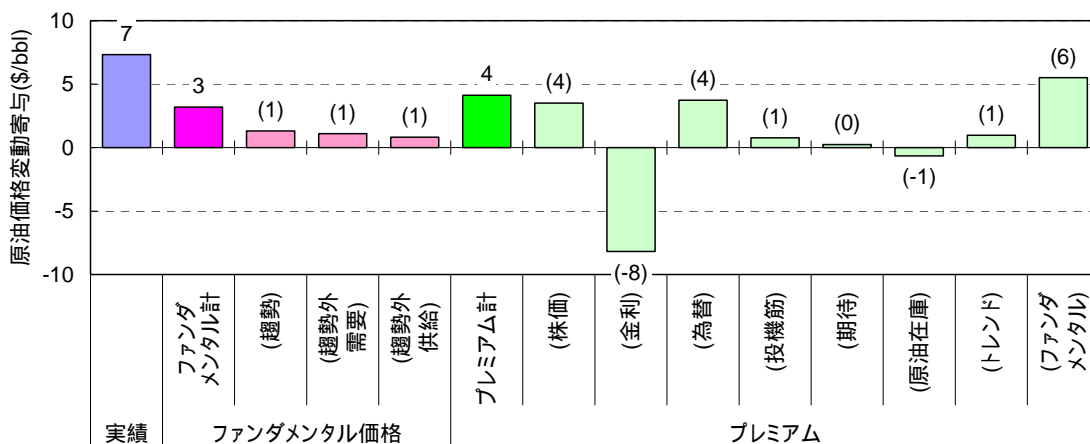
図14 原油価格変動(対前期)の要因分解
2004年第2四半期



2006年第1四半期



2008年第1四半期



注: 交絡項、モデル誤差などのため内訳の計と合計が合わない部分がある。

6. おわりに

この4年あまりの間に、原油価格は30ドル台から130ドル台へと100ドルも値を上げている。その背景には、新興国などを中心に増加を続ける石油需要、それに比して十分とはいえない石油供給や乏しい生産余力に対する不安感、不安定な中東情勢などがもたらす地政学的リスクなど実物需給に関連するもののほか、ITバブル崩壊以降の世界的な金融緩和とそれに伴う原油市場への資金の流入、サブプライムローン問題による株価下落と金融不安対策の副作用によるドルの減価など実物需給関連以外にも種々の要素が存在する。

本論文では、これらのうち大きな影響を持つと考えられるもの、あるいは注目されているものを取り上げて、原油価格をファンダメンタル価格とプレミアムに分解した。さらにファンダメンタル価格、プレミアムそれぞれについて、各要素が及ぼしている寄与を推計し、要因分解を行った。

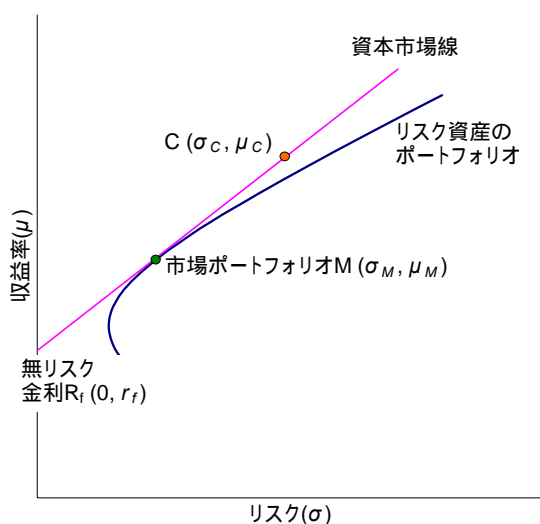
原油価格が130ドルを超えている目下、プレミアムは60～70ドル程度にまで拡大していると推測され、投資資金との関係に一層の注目が集まっている。しかしながら、ファンダメンタル価格の上昇もまた、プレミアムを拡大する要因となっていることにも留意すべきである。需要の節減と十分な供給、さらには代替エネルギーの促進が、古典的ではあるが重要な対策であることを再認識すべきであろう。

他の一次産品の価格上昇やサブプライムローン問題とあいまって、行き過ぎた原油価格により、世界経済にも悪影響が散見されるようになっている。「原油等の高騰 インフレ懸念の台頭 商品への資金の逃避 原油等の高騰」という負の循環と景気後退の同時進行という現状を見れば、スタグフレーションへの懸念は増してきているといえる。実際にスタグフレーションともなれば、全世界、とりわけ資源に乏しい途上国において、深刻な打撃となりうる。原油価格高騰問題の根本的な解決に向けた対応が迫られている現在、今回の試算が対応策のヒントにつながれば幸いである。

補論 資本・資産価格モデルCAPMと裁定価格理論APT

一定の仮定の下、最適ポートフォリオの考え方を一投資家のポートフォリオから市場全体に拡大する。市場の均衡を満たす接点ポートフォリオを市場ポートフォリオという。また、無リスク金利 R_f と市場ポートフォリオMを通る直線を資本市場線という。

図15 市場ポートフォリオと資本市場線



資本市場線上のポートフォリオCの収益率 μ_C とリスク σ_C は、図15からも明らかなように、(8)式のように表すことができる:

$$\mu_C = r_f + (\mu_M - r_f) \frac{\sigma_C}{\sigma_M} \tag{8}$$

ここで、 r_f は無リスク金利、 μ_M と σ_M はそれぞれ市場ポートフォリオMの収益率とリスクである。

こうして得られた(8)式の傾き $\frac{\mu_M - r_f}{\sigma_M}$ と、(2)、(3)式における資産Bを市場ポートフォリオMで置き換え、市場ポートフォリオ($w=0$)において評価した傾き $\left. \frac{d\mu_X}{d\sigma_X} \right|_{X=M}$ が等しくなることを利用すると、

$$\begin{aligned} \mu_A &= r_f + (\mu_M - r_f) \frac{\text{cov}(A, M)}{\sigma_M^2} \\ &= r_f + (\mu_M - r_f) \beta_A \end{aligned} \tag{9}$$

という式を導くことができる。これを資本・資産価格モデル(Capital asset pricing model, キャップエムCAPM)という。

CAPMは、資産Aの超過収益率が、市場ポートフォリオの超過収益率に資産Aのベータ値

β_A を乗じたものに等しくなることを示している。資産Aのベータ値 β_A は資産Aと市場ポートフォリオの超過収益率の共分散に比例する値である。

CAPMは、資産Aの超過収益率を市場ポートフォリオを用いて表現するモデルであるといえる。これに対し、資産Aに対して影響を及ぼすと考えられる複数の要素を用いて資産Aの収益率を表現するモデル、裁定価格理論(Arbitrage pricing theory, APT)が考えられるようになった:

$$r_A = \gamma_0 + \gamma_1 x_1 + \gamma_2 x_2 + \dots \quad (10)$$

ここで、 r_A は資産Aの収益率、 x_i は資産Aに対して影響を及ぼすと考えられる要素である。

APTに即せば、CAPMは要素として市場ポートフォリオを採用した特殊ケースと位置づけることができる。

参考文献

- 小田信之・吉羽要直(1998), 「デリバティブ商品価格から導出可能な市場情報を利用したマーケット分析方法」, 『金融研究』第17巻第2号
- 加藤裕己(2008), 「原油価格高騰とその要因」, 『エネルギー経済』第34巻第2号
- 刈屋武昭(1997), 『金融工学の基礎』東洋経済新報社
- 小山堅(2008), 「国際石油情勢とわが国の短期エネルギー需給見通し」, 『エネルギー経済』第34巻第2号
- 佐野慶一(2006), 「金融商品化する原油市場 ~投資マネーのインパクトと今後の見通し~」, 『石油・天然ガスレビュー』第40巻第5号
- 沢木勝茂(1994), 『ファイナンスの数理』朝倉書店
- 白塚重典・中村恒(1998), 「金融市場における期待形成の変化 オプション取引価格の情報変数としての有用性に関する一考察」, 『金融研究』第17巻第4号
- 竹澤邦夫(2003), 『みんなのためのノンパラメトリック回帰』吉岡書店
- 野口悠紀雄・藤井真理子(2000), 『金融工学』ダイヤモンド社
- 三尾仁志(2001), 「インフレ率の要因分解」, 『金融研究』第20巻第4号
- 森田裕二(2005), 「WTI原油のファンダメンタルな価格の検討」, 『エネルギー経済』第31巻第2号
- 柳澤明(2008a), 「高騰する原油価格の要因分解 —ファンダメンタルズとプレミアムの影響分析—」, 『エネルギー経済』第34巻第2号
- 柳澤明(2008b), 「原油価格急伸の背景とオプション取引に見る市場の予想動向」, 『エネルギー経済』第34巻第3号
- 山本拓(1988), 『経済の時系列分析』創文社
- Bhupinder Bahra (1997), “Implied risk-neutral probability density functions from option prices: theory and application”, *Working Paper* 66, Bank of England
- William R. Melick, Charles P. Thomas (1996), “Using options prices to infer PDF’s for asset prices: an application to oil prices during the Gulf crisis”, *International Finance Discussion Papers* 1996-541, Federal Reserve Board

お問い合わせ: report@tky.ieej.or.jp