

ニューヨーク・マーカンタイル取引所 (NYMEX) のエネルギー先物における フォワード・プレミアム拡大とリスク・プレミアムの関係

中野聖子*

本論は、ニューヨーク・マーカンタイル取引所に上場されている WTI 原油先物、無鉛ガソリン先物、暖房油先物、天然ガス先物のフォワード・プレミアム（先物価格の対数値と事後的に実現した現物価格の対数値との差）のについて、それぞれ上場から 2006 年 8 月まで分析している。まず、Bai and Perron (1998) の複数構造変化テストを用い、WTI 原油と無鉛ガソリンのフォワード・プレミアムが、1999 年 2 月以降、有意に拡大していることを確認し、次に、このように拡大しているフォワード・プレミアムのうちどの程度が、先物価格に含まれるリスク・プレミアム（ヘッジング・プレッシャーとシステムティック・リスク）で説明できるのかを検証している。検証の結果、システムティック・リスク要因は、どの商品についても有意ではなく、ヘッジング・プレッシャー要因は、無鉛ガソリンについてのみ有意であることがわかった。フォワード・プレミアムの動向を見ると、システムティック・リスク要因やヘッジング・プレッシャー要因をコントロールした上でも、WTI 原油と無鉛ガソリンから、1999 年 2 月に有意な構造変化が検出された。これは、近年のフォワード・プレミアムの拡大は、システムティック・リスクやヘッジング・プレッシャーで説明できるものではなく、予測誤差もしくはその他のリスク・プレミアムが要因であったことを示唆している。暖房油と天然ガスのフォワード・プレミアムからは、有意な構造変化は確認されなかった。

* 一橋大学大学院経済学研究科; gem7204@srv.cc.hit-u.ac.jp; 〒186-8601 東京都国立市中 2-1; (tel) 042-580-8192; (fax) 042-580-8195. 本論は、筆者が独立行政法人経済産業研究所、経済産業省に従事している間に執筆したものです。執筆にあたっては、三菱商事(株):ロバート・アンソニー・ヌーナン氏、日本経済新聞:笠原昌人氏をはじめとする多くの方々から貴重な知見を賜りました。また、日本商品先物振興協会より調査研究のための助成を受けました。ここで、心より謝辞申し上げます。論文中で示された内容や意見は、経済産業研究所や経済産業省の公式見解を示すものではありません。本論に対するご意見・ご質問・お問い合わせ等は、筆者までお寄せ下さい。

1. はじめに

ニューヨーク・マーカンタイル取引所 (NYMEX) に上場されている WTI 原油先物は、1986年10月に上場されて以来、湾岸戦争の時期を除くと1997年夏頃までは、1バレル約20ドル近辺を平均回帰的に動いていた。しかし、1999年以降は、ほぼ上昇トレンドに沿って値上がりを続け、2006年4月18日には、1番限価格が、1バレル71.6ドルをつけた（値動きの歴史的背景については、補論参照）¹。無鉛ガソリン、暖房油、天然ガスも、WTI 原油価格と同様に、1999年以降上昇基調に入り、2002年以降急激に上昇した。図1は、フォワード・プレミアム（先物価格の対数値と事後的に実現した現物価格の対数値との差）を示している。WTI 原油、無鉛ガソリン、暖房油のフォワード・プレミアムは、1999年以降（もしくは2002年以降）、恒常的にマイナスとなっている。これは、先物価格が事後的に実現した現物価格よりも安価であったことを示している。本論では、このように継続的にマイナスであるフォワード・プレミアムのうちどこまでが、先物価格に含まれるリスク・プレミアム（ヘッジング・プレッシャーとシステムティック・リスク）で説明できるのかを検証する。

先物価格は、将来の現物価格の期待値とリスク・プレミアムの和であると考えられることができる。また、先物価格に含まれるリスク・プレミアムを説明する変数としては、ヘッジング・プレッシャー要因や、システムティック・リスク要因を挙げることができる。ヘッジング・プレッシャーの概念を用いて、フォワード・プレミアムを論じた論文は、古くは Keynes(1930)、Hicks(1939)にまでさかのぼることができる。その後、Mayer(1972)が、資本資産価格モデル(CAPM)に非市場性資産を組込んだモデルを示し、ヘッジング・プレッシャーは、システムティック・リスクと並列に論じられるようになった。Black(1975)、Stoll(1979)、Jagannathan(1985)、Hirshleifer(1988,1989,1990)などは、そのモデルを現物・先物価格モデルへ拡張し分析を行った。本論では、その後、De Roon, et al. (2000)によ

¹ WTI(ウェスト・テキサス・インターメディアエイト)原油で知られているか、実際にニューヨーク・マーカンタイル取引所に上場されている商品名は、ライト・スウィート原油(Light, Sweet Crude Oil)である。

って示されたモデルを用いる。

分析の結果、図1において視覚的に捉えたフォワード・プレミアムのうち、WTI原油と無鉛ガソリンに見られた拡大は、統計的にも有意であることが確認できた。WTI原油の収益率は1999年2月以降、平均で年率ゼロ%から35%に、無鉛ガソリンの収益率も1999年2月以降、ゼロ%から37%に上昇した。これは、これら先物価格の方が、事後的に実現した現物価格よりも安価であったことを示している。一方、暖房油と天然ガスからは、そのような有意な構造変化は検出されなかった。また、フォワード・プレミアムのうちどの程度が、先物価格に含まれるリスク・プレミアム（ヘッジング・プレッシャーとシステムティック・リスク）で説明できるのかについて検証を行うと、どの商品についても、システムティック・リスク要因は有意でなく、無鉛ガソリンについてのみ、ヘッジング・プレッシャー要因が有意であった。システムティック・リスク要因やヘッジング・プレッシャー要因をコントロールした上で、フォワード・プレミアムの動向を見てみると、WTI原油と無鉛ガソリンから、コントロール前と同様1999年2月に、有意な構造変化が検出された。これは、近年のフォワード・プレミアムの拡大は、システムティック・リスクやヘッジング・プレッシャーによるものではなく、予測誤差もしくはその他のリスク・プレミアムによるものであったことを示唆している。

本論の構成は、以下の通り。第2節では、フォワード・プレミアムとリスク・プレミアムと予測誤差の関係を概観し、第3節では、先物価格に含まれるリスク・プレミアムを、システムティック・リスクとヘッジング・プレッシャーで説明した先行研究を、De Roan, et al. (2000)によって示されたモデルを中心に紹介し、第4節では、フォワード・プレミアムの拡大のうち、どこまでがシステムティック・リスクやヘッジング・プレッシャーで説明できるのかを明らかにする。そして、第5節で結論を述べる。

2. フォワード・プレミアムの構成要素

ここでは、フォワード・プレミアムを、リスク・プレミアムと予測誤差に分解し、どのような状況において、フォワード・プレミアムがマイナスになるのかを概観する。フォワード・プレミアムとは、先物価格と事後的に実現した現物価格との差であり、以下のよう
に示すことができる。

$$f_{d, d+180} - s_{d+180} \quad (1)$$

$f_{d, d+180}$ は、 d 日における、6 カ月後 ($d+180$ 日) に納会をむかえる先物価格の対数値、 s_{d+180} は、事後的に実現した現物価格の対数値である²。先物価格は、将来の現物価格の期待値の対数値 ($s_{d, d+180}^e$) とリスク・プレミアム ($f_{d, d+180} - s_{d, d+180}^e$) に分解することができるので、式 (1) は、以下のように書き換えることができる。

$$(f_{d, d+180} - s_{d, d+180}^e) + (s_{d, d+180}^e - s_{d+180}) \quad (2)$$

式 (2) の第一項はリスク・プレミアム、第二項は予測誤差を捉えている。つまり、フォワード・プレミアムは、6 ヶ月後に納会をむかえる先物価格のリスク・プレミアムと予測誤差に分解することができる。

図 1 は、フォワード・プレミアムを示している。WTI 原油、暖房油、天然ガスについては、上場から 2006 年 8 月まで、無鉛ガソリンについては、上場から上場廃止が決まる前の 2006 年 2 月まで示している。WTI 原油、無鉛ガソリン、暖房油は、1990 年の湾岸戦争の時期に振幅が大きくなるものの、1999 年（もしくは 2002 年前半）ま

² 納会日における 1 番限の先物価格を現物価格とする。

では、いずれもゼロに平均回帰しているように見える。これより、1999年2月以前は、予測誤差の分布が偏っていないと、また事後的平均リスク・プレミアムがゼロであったのではないかと推測される³。しかし、それ以降、フォワード・プレミアムは、継続的にマイナスの値となっている。これは、1999年以降、継続的に先物価格が、事後的に実現した現物価格に比べ安価であったことを意味している。一方、図1-Dに示された天然ガスについては、近年振幅が拡大したものの、WTI原油や石油製品に見られるような階段状の変化はなく、サンプル期間を通してゼロに平均回帰しているように見える。

[図1]

このように、近年、平均的にWTI原油・石油製品の先物価格が、事後的に実現した現物価格より安価であった理由としては、二つの要因が考えられる。一つは、1999年以降、市場参加者が、恒常的に6ヶ月先の市況を読み誤り続けたという、予測誤差の可能性である。具体的には、1999年以降、将来の現物価格を、継続的に安めに予測していたため、式(2)の第二項がマイナスになり、フォワード・プレミアム全体でも、マイナスとなったという可能性である。もう一つの可能性は、1999年以降、式(2)の第一項によって捉えられるリスク・プレミアムが、先物において、WTI原油・石油製品の売り圧力が強かった等の理由によりマイナスになり、フォワード・プレミアム全体でもマイナスとなったという可能性である。この二つの可能性は、互いに排他的ではなく、両方同時に存在することもある。また、第二項が大きなマイナスで、第一項が小さなプラスで、フォワード・プレミアム全体でマイナスになったという可能性も存在する。

しかし、将来の現物価格の期待値 ($S_{d,d+180}^e$) は、観察不可能であるため、リスク・プレミアムと予測誤差がそれぞれどのような値をとり、フォワード・プレミアム全体でマイ

³ 予測誤差の分布が偏っていて、かつ平均リスク・プレミアムが、ちょうどそれを相殺するだけ存在していたとも考えられるが、可能性としては低いと思われる。

ナスになったのかを、正確に知ることはできない。そこで、本論では、先物価格に含まれるリスク・プレミアムを説明する変数（ヘッジング・プレッシャーとシステムティック・リスク）を用い、近年のフォワード・プレミアム拡大のどこまでが、これらのリスク・プレミアム要因で説明できるのかを検証する。両リスク・プレミアム要因をコントロールした後も、有意にフォワード・プレミアムの拡大が観察されるのであれば、近年のフォワード・プレミアムの拡大は、予測誤差もしくは、その他のリスク・プレミアムに起因するものであると考えることができる。

3. リスク・プレミアムの説明要因

ここでは、先物価格に含まれるリスク・プレミアムの要因として挙げられるヘッジング・プレッシャーとシステムティック・リスクについて、De Roon, et al. (2000)のモデルを紹介しながら説明する。ヘッジング・プレッシャーの概念を用いて、先物価格と将来の現物価格期待値との差を論じた論文は、古くは Keynes(1930)、Hicks(1939)にまでさかのぼることができる。ヘッジング・プレッシャーとは、取引コストや情報の非対称性などによって、市場では取引できない資産からのリスクを、消滅させようとするために生じる圧力である。このような非市場性資産 (Non-marketable Assets) に伴うリスクを分散させる手段の一つが、先物取引である。例えばガソリンの販売業者（消費者）にとっての非市場性資産は、ガソリンの保有（予定取引）によって生じる将来の不確実な収入（支出）である。ガソリンの価格変動に伴うリスクは、先物取引によってヘッジすることができる。ガソリン先物市場において、販売業者（消費者）からの売り（買い）圧力の方が強い場合、ガソリン先物の価格は、将来のガソリン現物価格の期待値よりも安く（高く）なる傾向にある。このように先物価格と将来の現物価格の期待値を乖離させる要因が、ヘッジング・プレッシャーである。

ヘッジング・プレッシャーによるリスク・プレミアムの説明は、その後、Mayer(1972)

によって、資本資産価格モデル(CAPM)に組み入れられて理論モデル化され、システムティック・リスクと並列に論じられるようになる。その後、Black(1975)、Stoll(1979)、Jagannathan(1985)、Hirshleifer(1988, 1989, 1990)などによって、現物価格と先物価格の両方を含むモデルに拡張され分析が行われた。このように非市場性資産と先物契約が存在する場合、システムティック・リスクに起因するリスク・プレミアムは、先物契約や非市場性資産を含んだポートフォリオのベータで表される。

ヘッジング・プレッシャーとシステムティック・リスクで、先物価格に含まれるリスク・プレミアムについて実証分析を行った研究には、Bessembinder(1992)や De Roan, et., al. (2000)がある。Bessembinder(1992)は、1967年1月から1989年12月までのサンプル期間で、De Roan, et., al. (2000)は、1986年1月から1994年12月までのサンプル期間で、それぞれ指数・通貨・農作物・工業品に属する複数商品について、ヘッジング・プレッシャーが先物価格に含まれるリスク・プレミアムの有意な要素になっていることを確認した。本論は、サンプル期間を2006年8月まで延長し、近年のフォワード・プレミアム拡大のうち、どこまでがヘッジング・プレッシャーやシステムティック・リスクといったリスク・プレミアムで説明できるのかを検証する。

ここでは、De Roan, et al. (2000)によるモデルを紹介する。De Roan, et al. (2000)は、先物価格に含まれるリスク・プレミアムを、システムティック・リスク要因とヘッジング・プレッシャー要因で説明している⁴。市場には、一種類の非市場性資産、 K 種類の市場性資産、 L 種類の先物契約が存在し、各主体は、平均-分散効用関数にしたがってポートフォリオ選択を行う。ここで、非市場性資産の収益率を $r_{S,t+1} \equiv \ln(P_{t+1}) - \ln(P_t)$ とする。また、ある先物契約の収益率を $\ln(F_{i,t+1}) - \ln(F_{i,t})$ とし、全 L 先物契約の収益率を、 L 次元ベクトル

⁴ De Roan, et al. (2000) において画期的な点は、当該非市場性資産のみからではなく、他の非市場性資産からも、ヘッジング・プレッシャーが生じるという点である。これは、クロス・ヘッジング・プレッシャーと呼ばれる。しかし、実証分析において、クロス・ヘッジング・プレッシャーの変数を組み込むと、マルチ・コリニアリティーによる問題が生じるので、ここでは、クロス・ヘッジング・プレッシャーを含んだモデルを紹介するが、実証分析において、これらの項を含めない。

$r_{F,t+1}$ で表す。同様に、 K 種の市場性資産の収益率を K 次元ベクトル $r_{A,t+1}$ で表す。主体 j が t 期に保有するポートフォリオの構成割合を、非市場性資産が q_t^j (スカラー)、 K 種類の市場性資産が w_A^j (K 次元ベクトル)、 L 種類の先物契約が w_F^j (L 次元ベクトル) とする。これより、主体 j のポートフォリオの収益率は、以下のように表せる。

$$r_{t+1}^j = w_A^j{}' r_{A,t+1} + w_F^j{}' r_{F,t+1} + q_t^j r_{S,t+1} \quad (3)$$

例えば、主体 j が、石油精製設備ないし輸入基地を保有し、製品の供給能力をもつ石油元売りである場合、式 (3) の右辺第 3 項 ($q_t^j r_{S,t+1}$) は、保有している原油や石油製品 (現物) からの収益を意味する。逆に、主体 j が、原油・石油製品を原燃料として用いる需要者である場合、式 (3) の右辺第 3 項は、予定取引によって生じる収益を意味する。第 1 項と第 2 項 ($w_A^j{}' r_{A,t+1} + w_F^j{}' r_{F,t+1}$) は、保有している金融資産からの収益を捉える。具体的には、第 1 項は株式などの現物金融資産を、第 2 項はリスクヘッジの手段となりえる先物のポジションを捉えている。なお、ここで、主体 j は、価格変動リスクのみに直面していて、産出量や予定取引量の変動リスクには直面していないと仮定する。つまり、右辺第 3 項は、 $r_{S,t+1}$ のみを変動要因であるとする。

ここで、ある主体 j が保有する資産の全額を Y_t^j とする。また、経済全体に存在する主体の数を N とし、経済全体での非市場性資産割合 (q_t^m) を、式 (4) のように表すとする。これにより式 (4) は、市場全体における非市場性リスクの割合と考えることができる。

$$q_t^m = \frac{\sum_{j=1}^N Y_t^j q_t^j}{\sum_{j=1}^N Y_t^j} \quad (4)$$

ここで、各主体 j は、期待値に対して増加し分散に対して減少する効用関数 G^j と、式 (6)

(7) (8) で示される制約の下で、ポートフォリオ選択を行うとする。

$$\max_{w_A, w_F} G^j(E_t[r_{t+1}^j], \text{Var}_t[r_{t+1}^j]) \quad (5)$$

s.t.

$$E_t[r_{t+1}^j] = \begin{bmatrix} w_A^j \\ w_F^j \end{bmatrix}' E_t \begin{bmatrix} r_{A,t+1}^j \\ r_{F,t+1}^j \end{bmatrix} + q^j E_t[r_{S,t+1}] \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{Var}_t[r_{t+1}^j] = & \begin{bmatrix} w_A^j \\ w_F^j \end{bmatrix}' \begin{bmatrix} \text{Var}_t(r_{A,t+1}^j) & 0 \\ 0 & \text{Var}_t(r_{F,t+1}^j) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_A^j \\ w_F^j \end{bmatrix} \\ & + 2 \begin{bmatrix} w_A^j \\ w_F^j \end{bmatrix}' \begin{bmatrix} \text{Cov}(r_{A,t+1}^j, r_{S,t+1}) \\ \text{Cov}(r_{F,t+1}^j, r_{S,t+1}) \end{bmatrix} q^j + (q^j)^2 \text{Var}_t[r_{S,t+1}] \end{aligned} \quad (7)$$

$$w_A^j' I = 1 \quad (8)$$

I は、1のみを要素に持つベクトルである。これより導かれる解を、全主体 j を通して集計すると、先物契約の期待収益率は、式 (9) の通りになる⁵。

$$E_t[r_{F,t+1}] = \beta_F E_t[r_{t+1}^m - \lambda] + \theta_{F,S} q_t^m \quad (9)$$

$$\text{ここで } \beta_F \equiv \frac{\text{Cov}(r_{F,t+1}, r_{t+1}^m)}{\text{Var}(r_{t+1}^m)}$$

$$\theta_{F,S} \equiv \gamma^m \{ \text{Cov}(r_{F,t+1}, r_{S,t+1}) - \beta \text{Cov}(r_{t+1}^m, r_{S,t+1}) \}$$

式 (9) の第一項は、システムティック・リスクに起因するリスク・プレミアムを捉えて

⁵ 一方、市場性資産の期待収益率は、 $E_t[r_{A,t+1}] - \lambda I = \beta_A E_t[r_{t+1}^m - \lambda] + \theta_{A,S} q_t^m$ となる。ここで、 γ^m は、マーケットの危険回避度。 λ は、制約(6)に対するラグランジェ乗数。 β_A と $\theta_{A,S}$ の定義は、式 (7) の β_F と $\theta_{F,S}$ と相似である。

いる。 r^m は、マーケット・ポートフォリオの収益率、 λ は、無リスク資産の収益率を表す。係数 β_F は、先物契約をポートフォリオに組み込んだ場合の証券市場線のベータと考えることができる。第二項は、ヘッジング・プレッシャーに起因するリスク・プレミアムを捉えている。 q_t^m は、 t 時点における経済全体での非市場性資産の割合である。その係数 $\theta_{F,S}$ は、二つの項から構成される。第1項 ($Cov(r_{F,t+1}, r_{S,t+1})$) は、保有している非市場性資産（ガソリン等の現物）の収益率と、そのヘッジ手段になりえる先物取引の収益率との共分散を表している。つまり、ヘッジ実効性である。また、第2項 ($Cov(r_{t+1}^m, r_{S,t+1})$) は、マーケット・ポートフォリオの収益率と保有している非市場性資産の収益率の共分散を表している。ヘッジング・プレッシャーの係数 $\theta_{F,S}$ の符号は、通常、ヘッジ実効性の方が第2項目より高いと思われるため、正であること予想される。

4. 実証分析

4-1. データ

ここでは、実証分析に用いるデータについて説明する。分析には、ニューヨーク・マーカンタイル取引所 (NYMEX) に上場されている WTI 原油、無鉛ガソリン、暖房油、天然ガスの先物価格、アメリカの先物取引規制当局である the Commodity Futures Trading Commission (CFTC) が公表している大口建玉数を用いる。また、システムティック・リスクを捉える変数 (SYS_d) を算出するために、S&P500 インデックスと米国 10 年国債を用いている。

1992年10月以降、CFTC は、毎週火曜日のクロージング時点における大口建玉保有者（個別口座保有者）の建玉数を収集し、その週の金曜に the Commitment of Traders (COT) として公表している⁶。COT 内のカテゴリーは、大口建玉保有者に該当するか否かに

⁶ 1992年9月以前の公表頻度は、月に1度もしくは2度であった。1992年9月以前でも、CFTCのウェブサイト、月2度のデータ収集時点の大口建玉データを入手することが可能である。COT データを用いた論文としては、Carter, et. al., (1983)、Chang, et. al., (1985)、Sanders, et. al., (2004) 等が挙げ

よって、リポーティングとノン・リポーティングに分かれる⁷。さらに、リポーティングに区分された建玉数は、口座開設者が当業者であるか否かによって、コマースシャルズ（当業者）とノン・コマースシャルズ（非当業者）に分かれる⁸。それぞれの建玉数は、売り買い別で公表されている。ヘッジング・プレッシャーを捉える変数は、この COT データから算出している。具体的には、式（10）に従い、コマースシャルズの全建玉数に占めるコマースシャルズの売り越し建玉数の割合を、経済全体での非市場性資産の割合（ q^m ）としている。

$$q^m = \frac{(\text{コマースシャルズのショート建玉数}) - (\text{コマースシャルズのロング建玉数})}{(\text{コマースシャルズの全建玉数})} \quad (10)$$

なお、コマースシャルズの売り越しは、ノン・コマースシャルズの買い越しとほぼ一対一に対応している。よって、ここでのヘッジング・プレッシャーのテストは、新聞等で多く述べられているノン・コマースシャルズ（投機家）による買い越しと値上がりの間の正の関係を調べることと、ほぼ同じである。

先物価格としては、6 番限の帳入れ価格を用い、また、現物価格としては、納会日についた 1 番限の帳入れ価格を用いた。本論で分析するエネルギー先物契約は全て、毎月納会をむかえるため、データは月次である。COT における建玉数は、リポーティング日が納会日に重なっている場合には、その日の建玉数を用い、重なっていない場合には、直前にリポートされた建玉数を用いた。分析期間は、WTI 原油、暖房油は 1986 年末から 2006 年 8 月まで、無鉛ガソリンは 1987 年 4 月から 2006 年 2 月まで、天然ガスは 19

られる。また、Chang, et. al., (1997)、Ederington and Lee (2002)では、CFTC の未集計データ（'01' data）が用いられている。

⁷ ある一商品のある一限月の建玉数が、商品ごとに定められたリポーティング・レベルを超えた場合、その口座の全ての建玉は、レベルに達している、いないに関わらず、CFTC にリポートされなければいけない。リポーティング・レベルは、暖房油が 250 枚（1050 万ガロン）、WTI 原油が 350 枚（35 万バレル）、無鉛ガソリンが 150 枚（=630 万ガロン）などである。他の商品のリポーティング・レベルに関しては、次を参照。
<http://www.cftc.gov/dea/dearlevel2.htm>

⁸ 当業者・非当業者の区分は、申請書 102 (http://www.cftc.gov/files/dea/forms/deacftc_form102.pdf) において、取次業者が申告する。

90年4月から2006年8月までである⁹。各データの基本統計量は、表1に記されている。

[表1]

4-2. リスク・プレミアムか予測誤差か

この節では、図1で観察した近年のフォワード・プレミアム拡大が統計的にも有意であるかを確認し、次にその拡大のどこまでが、リスク・プレミアム要因（ヘッジング・プレッシャーとシステムティック・リスク）で説明できるのかを検証する。

4-2-1. フォワード・プレミアム

図1で視覚的に確認したフォワード・プレミアムの動向を厳密に捉えるために、式(11)の係数 (α_1 、 α_2) に対して、Bai and Perron (1998)複数構造変化テストを行う。

$$(s_{d+180} - s_d) = \alpha_1 + \alpha_2 * (f_{d,d+180} - s_d) + \varepsilon_d \quad (11)$$

式(11)は、式(9)のシステムティック・リスク要因(右辺第一項)とヘッジング・プレッシャー要因(右辺第二項)を含まない形式である。式(9)の左辺 $E_t[r_{i,t+1}]$ は、 $(s_{d+180} - s_d)$ 、 $(f_{d,d+180} - s_d)$ 、 ε_d に分解でき、式(11)のように変形できる。ここで S_t は t 期における現物価格、 $F_{t,t+T}$ は $t+T$ 期に納会を迎える先物契約の t 期における価格を表していて、 $s_t \equiv \ln(S_t)$ 、 $f_{t,t+T} \equiv \ln(F_{t,t+T})$ である。また、ここで、先物価格が、事後的に実現した現物価格の不偏(unbiased)期待値であれば、式(11)における定数 α_1 はゼロ、係数 α_2 は1となることが期待される。

⁹無鉛ガソリンは、改質ガソリン基材の上場に伴い、2006年3月に上場廃止が決定されたため、分析期間は、2006年2月までとした。分析期間を詳細に表すと、WTI原油の場合、1986年12月(1987年5月)から2006年8月(2006年5月)までである。1986年12月の納会日についての6番限先物価格が説明変数の開始時点、1987年5月の納会日についての1番限先物価格が非説明変数の開始時点となる。1986年12月の納会日は、式(11)の d に対応し、1987年5月の納会日は、式(11)の $(d + 180)$ に対応する。

式(11)の推定結果は、表2に示されている。図1で確認したフォワード・プレミアムの変動は、切片 α_1 の構造変化によって捉えられる。切片 α_1 の推定値を見てみると、WTI原油と無鉛ガソリンの切片に有意な構造変化は検出され、その日付は1999年2月であることがわかる。一方、暖房油と天然ガスからは、有意な構造変化は検出されなかった。WTI原油(無鉛ガソリン)の定数項は、構造変化前、 $-0.001(0.01)$ で有意にゼロから乖離していないが、1999年2月以降は $0.35(0.37)$ で有意にゼロから乖離している。これは、WTI原油であれば、6番限で買い建て6ヶ月後に手仕舞うことによる収益率が、1999年2月以前は平均で年率ゼロ%であったが、1999年2月以降は継続して、平均で年率35%であったことを示している¹⁰。この構造変化の推定結果は、図1-Aと図1-Bで視覚的に確認したものと整合的である。ここで、構造変化が検出された1999年第1四半期とは、アジア通貨危機などで低迷していたWTI原油価格の動向を受けて、OPEC諸国や非OPEC諸国(メキシコやノルウェーなど)が、協調的減産政策を実施し、原油価格が反転し上昇に転じた時期である。

[表 2]

切片に、このような構造変化が現れる理由としては、互いに排他的でない2つの理由を挙げることができる。一つは、1999年2月以降、市場参加者が、恒常的に6ヶ月先の市況を安価な方向に読み誤り続けたという予測誤差の可能性、もう一つは、WTI原油先物において売り圧力が強く先物価格が将来の現物価格の期待値に比べて安価($F_{d,d+180} < S_{d,d+180}^e$)になったというリスク・プレミアムの可能性である。次のセクションでは、このフォワード・プレミアムの拡大を、先物価格に含まれるリスク・プレミアム要因で説明できるかを検証する。

¹⁰ これは、WTI原油をヘッジ手段に用いている買い手の立場から考えると、1999年2月以降、事後的に実現した現物価格で購入せずに、6ヶ月前にWTI原油先物で買い値を確定しておくことで、継続的に平均で年率35%のコスト増を免れることができていたことを示している。

4-2-2. ヘッジング・プレッシャーとシステムティック・リスク

ここでは、先物価格に含まれるリスク・プレミアムであるヘッジング・プレッシャーとシステムティック・リスクを推定式に加え、近年のフォワード・プレミアム拡大は、これらのリスク・プレミアム要因で説明できるか否かを検証する。両リスク・プレミアム要因をコントロールした上でも、切片 α_1 に有意な構造変化が検出されるのであれば、近年のフォワード・プレミアムの拡大は、予測誤差もしくは、その他のリスク・プレミアムに起因するものであると考えることができる。

システムティック・リスク要因(SYS_d)とヘッジング・プレッシャー要因(q_d^m)を含め、式(12)の形式で、各係数と構造変化の時点を推定する。式(12)は、De Roon, et al. (2000) によって導かれる結果 (式(9)) を変形したものである。

$$(s_{d+180} - s_d) = \alpha_1 + \alpha_2 * (f_{d,d+180} - s_d) + \alpha_3 * SYS_d + \alpha_4 * q_d^m + \varepsilon_d \quad (12)$$

推定結果は、表3-Aと表3-Bに示されている。表3-Aにおける WTI 原油、暖房油、天然ガスの調整済み決定係数を、リスク・プレミアム要因を含まない表2の結果と比較してみると、ほぼ同じである。一方、無鉛ガソリンについて同じ推定式の推定結果を示した表3-Bの調整済み決定係数は、表2の結果の0.33から0.21に低下している。このため、無鉛ガソリンについては、有意な結果がえられていないシステムティック・リスクを取り除き、再び、推定を行った。表3-Aに示されている無鉛ガソリンの結果は、システムティック・リスク要因を取り除いた上での結果である。調整済み決定係数は0.34となった。よって、無鉛ガソリンについては、システムティック・リスクを含まない推定式を採用すべきと思われる。これより、推定結果としては、表3-Aを見ていく。

[表3-A と 表3-B]

まず、システムティック・リスクとヘッジング・プレッシャーを見ると、唯一、無鉛ガソリンに対するヘッジング・プレッシャーが、0.72で有意（5%の有意水準）であった。ヘッジング・プレッシャーは、式（10）で定義した通り、先物契約が結ばれた時点におけるコマースナルズ（当業者）の売り越し割合である。この係数が正で有意であることは、コマースナルズ平均でみると、先物契約時点において、売り圧力の方が強かったことを意味している。つまり、ガソリンの販売業者と購入予定者の間での、6ヵ月後の価格固定化圧力を比べると、販売業者による価格固定化圧力の方が強かったため、先物価格が将来の現物価格の期待値に比べて安価（ $F_{d,d+180} < S_{d,d+180}^e$ ）になったということの意味している。

しかし、次に、切片 α_1 における構造変化を見てみると、システムティック・リスク要因やヘッジング・プレッシャー要因をコントロールした上でも、式（11）のときと同様、WTI原油と無鉛ガソリンにおいて、1999年2月に有意な構造変化が検出された。この結果は、近年のフォワード・プレミアムの拡大は、システムティック・リスクやヘッジング・プレッシャーでは説明できなく、予測誤差もしくはその他のリスク・プレミアムが、要因になっていたことを示唆する。例えば、WTI原油先物であれば、年率平均35%の収益率を、1999年2月以降継続的に実現できていたという結果の発生要因は、市場参加者が、6ヵ月後に現物価格がそこまで高くなるとは予測できていなかったから、もしくは、その他のリスク・プレミアム要因によって先物価格が継続的に安価になっていたから、と考えられる。

暖房油と天然ガスの切片 α_1 からは、式(12)においても、有意な構造変化は検出されなかった。また、これらのシステムティック・リスク要因とヘッジング・プレッシャー要因も、ともに有意ではなかった。このように原油とガソリンの切片 α_1 からは構造変化が検出された一方、暖房油と天然ガスからは検出されなかった理由としては、原油とガソリンの

フォワード・プレミアムの拡大がリスク・プレミアム要因で説明できなかったことから考え、原油とガソリンの現物価格は、1999年2月以降、市場にとってかなり予想外に上昇していた、そして、その比較において、暖房油と天然ガスは、そこまでは予想外に上昇していなかったのではないかと想像できる。他方、先物価格が、事後的に実現した現物価格の不偏 (unbiased) 期待値 (定数 α_1 はゼロ、係数 α_2 は1) であるか否かという観点では、定数 α_1 が0.02、係数 α_2 が1.01である天然ガスの先物価格は、不偏期待値であると評価できる。

5. 結論

本論では、ニューヨーク・マーカンタイル取引所に上場されている WTI 原油先物、無鉛ガソリン先物、暖房油先物、天然ガス先物におけるフォワード・プレミアム (先物価格の対数値と事後的に実現した現物価格の対数値との差) のうち、どこまでがリスク・プレミアム要因で説明されるのかを分析した。分析期間は、WTI 原油と暖房油が1986年から2006年8月まで、無鉛ガソリンが1986年から2006年2月まで、天然ガスが1990年4月から2006年8月までである。

初めに、図1から視覚的に確認できるフォワード・プレミアムの拡大が、統計的にも有意であるのかを、Bai and Perron (1998)の複数構造変化テストを用いて確認した。WTI 原油と無鉛ガソリンのフォワード・プレミアムは、1999年2月以降、有意に、年率で平均、それぞれゼロ%から35%へ、ゼロ%から37%へ上昇したことが確認できた。これは、これら先物価格が事後的に実現した現物価格よりも安価であったことを示している。一方、暖房油と天然ガスからは、そのようなフォワード・プレミアムにおける構造変化は、検出されなかった。

次に、このように、近年、拡大しているフォワード・プレミアムのうちどの程度が、

先物価格に含まれるリスク・プレミアム要因（ヘッジング・プレッシャーとシステムティック・リスク）で説明できるのかを検証した。システムティック・リスク要因は、どの商品についても有意ではなく、ヘッジング・プレッシャー要因は、無鉛ガソリンにおいてのみ有意であった。フォワード・プレミアムの動向を見てみると、システムティック・リスク要因やヘッジング・プレッシャー要因をコントロールした上でも、WTI 原油と無鉛ガソリンから、1999年2月に有意な構造変化が検出された。これらの結果は、近年のフォワード・プレミアムの拡大は、システムティック・リスクやヘッジング・プレッシャーで説明できるものではなく、予測誤差もしくはその他のリスク・プレミアムが要因であったことを示している。

参考文献

- 小山 堅(2000)「OPEC総会後の原油価格展望 — 1999年以降の原油価格急騰の背景」、
eneken.ieej.or.jp/data/pdf/567.pdf
- 小山 堅(2005)「国際石油市場の展望」、独立行政法人経済産業研究所におけるプレゼンテーション。
- 星野 優子(2004)「最近の原油価格動向」、<http://criepi.denken.or.jp/ip/serc/pdf/genyukakaku.pdf>
- Bai, J. and P. Perron (1998), "Estimating and Testing Linear Models with Multiple Structural Changes," *Econometrica*, 66, 47-78.
- Bessembinder, Hendrik, 1992, "Systematic Risk, Hedging Pressure, and Risk Premiums in Futures Markets," *The Review of Financial Studies*, vol. 5, no. 4, 637-667.
- Black, Fischer, 1975, "The Pricing of Commodity Contracts," *Journal of Financial Economics*, vol. 3, 167-179.
- Carter, Colin, Gordon Rausser, and Andrew Schmitz, 1983, "Efficient Asset Portfolios and Theory of Normal Backwardation," *Journal of Political Economy*, vol. 91, no. 21, 319-331.
- Chang, Eric, 1985, "Returns to Speculators and the Theory of Normal Backwardation," *The Journal of Finance*, vol. 40, no. 1, 193-208.
- Chang, Eric, 1997, "Intraday Variations in Volume, Variance, and Participation of Large Speculators," *Journal of Banking and Finance*, vol. 21, 797-810.
- De Roon, Frans, Theo Nijman, and Chris Veld, 2000, "Hedging Pressure Effects in Futures Markets," *The Journal of Finance*, vol. LV, no. 3, 1437-1456.
- Ederrington, Louis and Jae Ha Lee, 2002, "Who Trades Futures and How: Evidence from the Heating Oil Futures Markets," *Journal of Business*, vol. 75, no.2, 353-373.
- Hicks, John, 1939, *Value and Capital*, Cambridge, U.K., Oxford University Press.
- Hirshleifer, David, 1988, "Residual risk, trading costs, and commodity futures risk premia," *Review of Financial Studies*, vol. 1, no. 2, 173-193.
- Hirshleifer, David, 1989, "Determinants of Hedging and Risk Premia in Commodity Futures Markets," *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, vol. 24, no. 3, 313-331.
- Hirshleifer, David, 1990, "Hedging Pressure and Futures Price Movements in a General Equilibrium

- Model,” *Econometrica*, vol. 58, no. 2, 411-428.
- International Energy Agency, 2005, “Fact Sheet on IEA Oil Stocks and Emergency Response Potential,” <http://www.iea.org/textbase/papers/2004/factsheetcover.pdf>.
- Jagannathan, Ravi, 1985, “An Investigation of Commodity Futures Price Using the Consumption-based Intertemporal Capital Asset Pricing Model,” *The Journal of Finance*, vol. 40, no. 1, 175-191.
- Keynes, John, 1930, *A Treaties on Money*, Vol. 2, London, MacMillan.
- Mayer, David, 1972, “Nonmarketable Assets and Capital Market Equilibrium under Uncertainty,” in *Studies in the Theory of Capital Markets*, edited by Michael C. Jensen, New York, Praeger.
- Merino, Antonio and Alvaro Ortiz, 2005, “Explaining the so-called "price premium" in oil markets,” *OPEC Review*, vol. 29, iss. 2, 133-152.
- Robinson, David, et al., (2000), “The Impact of Higher Oil Prices on the Global Economy,” <http://www.imf.org/external/pubs/ft/oil/2000/oilrep.pdf>
- Rogoff, Kenneth, 1980, “Tests of the Martingale Model for Foreign Exchange Futures Markets” in *Essays on Expectations and Exchange Volatility*, Ph. D. dissertation, Massachusetts Institute Technology, Cambridge, MA.
- Sanders, Dwight, Weith Boris, and Mark Manfredo, 2004, “Hedging, funds, and small speculators in the energy futures markets: an analysis of the CFTC’s Commitments of Traders reports,” *Energy Economics*, 26, 425-445.
- Stoll, Hans, 1979, “Commodity Futures and Spot Price Determination and Hedging in Capital Market Equilibrium,” *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, vol. XIV, no. 4, 873-894.

補論: WTI Crude Oil の値動きにおける歴史的背景

ここでは、WTI 原油先物価格の歴史的背景について説明する。図A-1は、ニューヨーク・マーカンタイル取引所に上場されている WTI 原油の1番限(破線)と6番限(実線)の終値(日次)を、1986年の上場から2005年10月18日まで示したものである。1番限の値動きと6番限の値動きの基調は、ほぼ同じである。しかし、1990年の湾岸戦争期、1999年から2000年にかけての協調的減産期、そして2002年11月から2003年5月にかけてベネズエラで発生した反チャベス大規模ストライキの時期は、現物確保需要が高まり、1番限(破線)が高くなっている(バックワーデーション)。一方、1997年のアジア通貨危機後、原油需要が減退した際は、6番限(実線)が高くなっている(コンタンゴ)¹¹。

[図A-1]

WTI 原油先物価格は、1986年から1997年夏頃までは(湾岸戦争の時期を除いて)、1バレル約20ドル周りを平均回帰的に動いていた。その後、日本やヨーロッパ諸国の景気低迷や、1997年7月に発生したアジア通貨危機により、原油需要が後退、価格も下落傾向になり、1998年12月10日には、期近が1バレル10.72ドルまで値を下げた。この価格低迷に危機感を募らせたOPEC諸国や非OPEC諸国(メキシコやノルウェーなど)は、1998年3月以降順次、減産政策を決定し実施にうつっていった。この協調的減産により、1999年第1四半期に、WTI 原油価格は反転し、上昇トレンドを描くようになり、2000年9月20日には、1バレル37.2ドル(1番限)をつけた。これは、価格が反転した後、約1年半で、約3.7倍に値上りしたことになる。しかし、この値上がりによる需要シフトに危機感をおぼえたOPECは、2000年3月27-29日に開いた第109回総会で、減産の緩和を決定し、また、非公式に原油価格目標バン

¹¹ このグラフが示す時期以降、2005年11月ごろから、WTI 原油市場では急激なコンタンゴが発生した。これは、6番限で買い1番限で売るローリング・メカニズムを採用しているインデックス・ファンドのためと言われている。

ドを導入した¹²。これによって、WTI 原油価格は低下基調に入った。また、2001年9月11日の同時多発テロ事件後の航空需要低迷に伴い、WTI 原油価格はさらに低下した。しかし、2002年1月には、再び上昇トレンドに戻る。その後、2002年11月から2003年5月までベネズエラで反チャベスの大規模ストライキが起こり、2003年3月19日にイラク戦争が開戦し、また、中国の石油需要も、国際エネルギー機関が「中国が石油需要増大の最大要因」と発表（2003年11月13日）するほどに上昇した。この間、WTI 原油価格は、荒い値動きで上昇していった。また、2002年12月頃からイラク戦争開始前までは、現物確保需要の高まりから、期近が値上がりすることによって、バックワーデーションが拡大していた。その後、2004年に入ってから、中国の石油需要が予測以上に増大し、その一方で、それまで、設備投資ではなく生産枠を拡大することで増産を行い需要増に対応してきた OPEC につけが回り、2004年9月、OPEC の余剰生産能力が日量58万バレルにまで落ち込んだ。この需要増と供給不安により、2004年以降、WTI 原油価格は早い調子で上昇していった。そして、2005年夏にハリケーン・カトリーナによってメキシコ湾沿岸に壊滅的被害がもたらされると8月30日には、1番限が1バレル69.81ドル、6番限が1バレル70.11ドルとなった。この急騰に対応して、9月2日、国際エネルギー機関（IEA: International Energy Agency）は、日量200万バレルの緊急石油備蓄放出に対する合意を、メンバー国から取りつけ、その後は、1バレル60ドル近辺で、一時落ち着いた¹³。

図は示していないが、無鉛ガソリン、暖房油の値動きも、WTI 原油同様、湾岸戦争の

¹² 原油価格目標バンドとは、小山(2000)やRobinson(2000)によると、OPEC の基準バスケット価格が、20日以上、1バレル22-28ドルの範囲を逸脱し続けた場合、日量50万バレルの増・減産を実行するというルールである。

¹³ 国際エネルギー機関による緊急石油備蓄放出要請は、1973-74年の石油危機をうけて国際エネルギー機関が発足して以来、以下のみである。

1991年1月17日：湾岸戦争有事計画(Gulf War Contingency Plan)により日量250万バレルの放出要請。

1999年12月-2000年1月：Y2K対応体制(Y2K Response Plan)として、迅速に有事対応できるよう体制を備える。

2002年末-2003年初：低水準の在庫、ベネズエラ・ナイジェリア・イラクの情勢不安をふまえ、2003対応体制(2003 Response Preparations)として、迅速に有事対応できるよう体制を準備。

2005年9月2日：ハリケーン・カトリーナによってもたらされたメキシコ湾沿岸の壊滅的被害に対応して日量200万バレルの放出要請。

(参照：IEA(2005))

時期を除く1986年から1997年夏頃までは、平均回帰するかたちで動き、1999年2月近辺以降は、上昇トレンドを描いている。一方、天然ガスは2002年1月以降、上昇トレンドを描くようになった。

表1: 基本統計量

		平均	分散	観察値	データ期間
ln(S _{d+180}) - ln(S _d) (年率)	原油	1.07	225.1	227	1986年12月 - 2006年8月
	無鉛ガソリン	1.05	220.14	222	1987年4月 - 2006年2月
	暖房油	1.07	231.11	233	1986年11月 - 2006年8月
	天然ガス	1.09	190.39	192	1990年4月 - 2006年8月
ln(F _{d, d+180}) - ln(S _d) (年率)	原油	-0.07	0.04	227	1986年12月 - 2006年8月
	無鉛ガソリン	-0.09	0.07	222	1987年4月 - 2006年2月
	暖房油	-0.05	0.06	233	1986年11月 - 2006年8月
	天然ガス	0.05	0.2	192	1990年4月 - 2006年8月
ヘッジング・プレッシャー	原油	0.0007	0.0038	227	1986年12月 - 2006年8月
	無鉛ガソリン	0.06	0.01	222	1987年4月 - 2006年2月
	暖房油	0.08	0.01	233	1986年11月 - 2006年8月
	天然ガス	0.05	0.0037	192	1990年4月 - 2006年8月
マーケット・ポートフォリオ (年率)	原油*	0.02	0.05	227	1986年12月 - 2006年8月

*他の商品に対応するマーケットポートフォリオの収益率も、原油のデータの間隔で計ったものとほぼ完全に同じ

表2: 式(11)の推定結果

$$(s_{d+180} - s_d) = \alpha_1 + \alpha_2 * (f_{d,d+180} - s_d) + \varepsilon_d$$

	係数 (標準偏差)				構造変化の日付	Adj. R ²
	α_1		α_2			
	構造変化 前	構造変化 後	構造変化 前	構造変化 後		
原油	-0.001 (0.04)	0.35 (0.07) ***	0.58 (0.19) ***	1.15 (0.27) ***	1999年2月	0.16
無鉛ガソリン	0.01 (0.04)	0.37 (0.06) ***	0.42 (0.15) ***	1.38 (0.15) ***	1999年2月	0.33
暖房油	0.12 (0.03) ***		0.78 (0.12) ***		なし	0.14
天然ガス	0.07 (0.96)		0.96 (0.11) ***		なし	0.29

*: 10%の有意水準で有意 **: 5%の有意水準で有意 ***: 1%の有意水準で有意

表3-A: 式(12)の推定結果

$$(s_{d+180} - s_d) = \alpha_1 + \alpha_2 * (f_{d,d+180} - s_d) + \alpha_3 * SYS_d + \alpha_4 * q_d^m + \varepsilon_d$$

	係数 (標準偏差)				構造変化の日付	Adj. R ²		
	α_1		α_2				α_3	α_4
	構造変化 前	構造変化 後	構造変化 前	構造変化 後	システムティック・ リスク要因	ヘッジング・ プレッシャー要因		
原油	0.01 (0.04)	0.33 (0.07) ***	0.61 (0.20) ***	1.23 (0.27) ***	-0.04 (0.14)	0.71 (0.50)	1999年2月	0.16
無鉛ガソリン	-0.02 (0.04)	0.72 (0.34) ***	0.45 (0.14) ***	1.48 (0.15) ***		0.72 (0.34)**	1999年2月	0.34
暖房油	0.12 (0.04) ***		0.76 (0.12) ***		-0.22 (0.14)	-0.02 (0.36)	なし	0.15
天然ガス	0.02 (0.06)		1.01 (0.12) ***		-0.06 (0.23)	0.95 (0.81)	なし	0.29

*: 10%の有意水準で有意 **: 5%の有意水準で有意 ***: 1%の有意水準で有意

表3-B: 無鉛ガソリンについてシステムティック・リスク要因を含んだ推定結果

	係数 (標準偏差)				構造変化の日付	Adj. R ²		
	α_1		α_2				α_3	α_4
	構造変化 前	構造変化 後	構造変化 前	構造変化 後	システムティック・ リスク要因	ヘッジング・ プレッシャー要因		
無鉛ガソリン	0.10 (0.04) ***		0.94 (0.12) ***		-0.08 (0.13)	0.85 (0.35) **	なし	0.21

*: 10%の有意水準で有意 **: 5%の有意水準で有意 ***: 1%の有意水準で有意

図1-A. 先物価格におけるフォワード・プレミアム: NYMEX WTI原油
(先物価格の対数値と事後的に実現した現物価格の対数値の差)

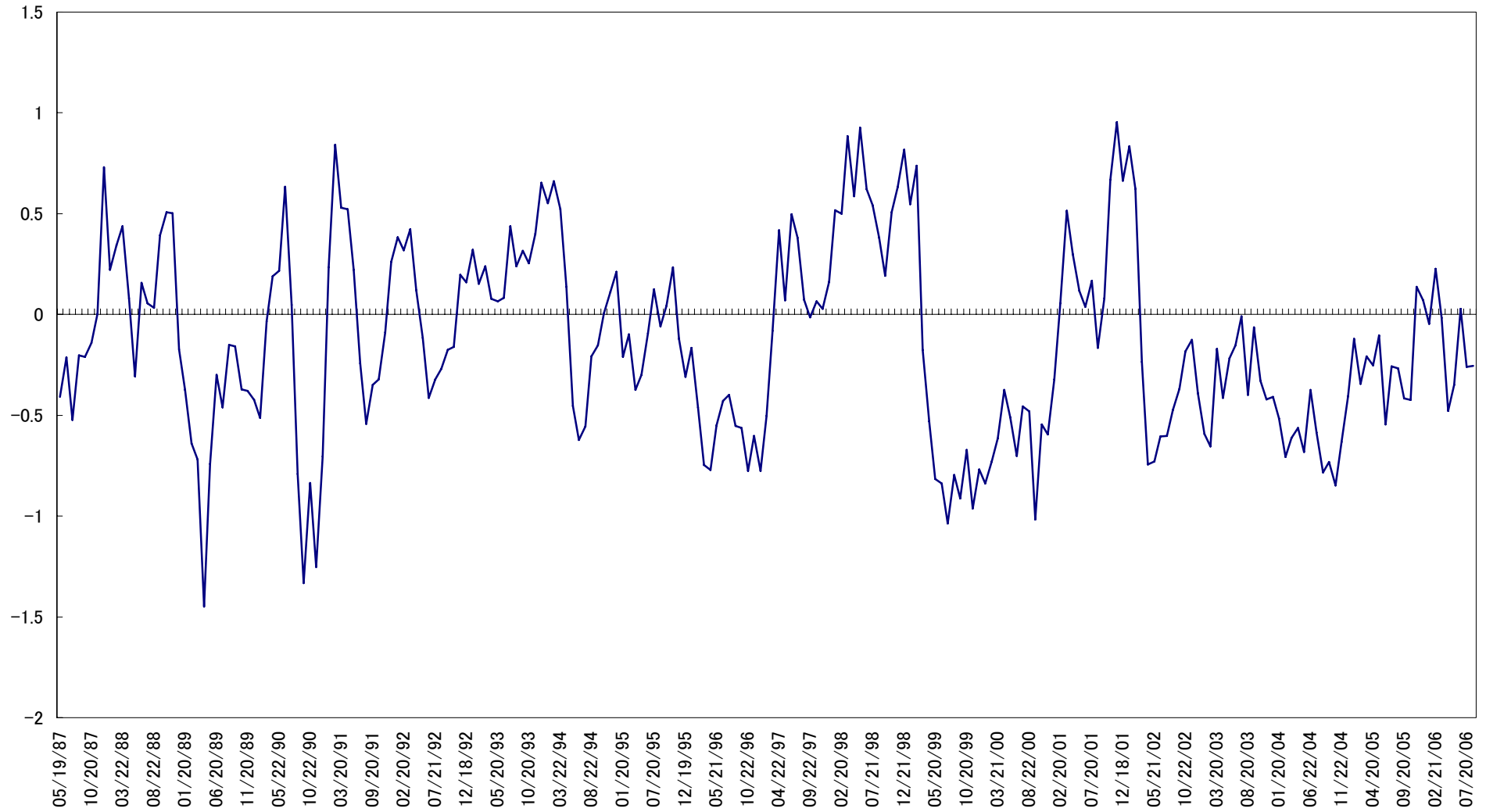


図1-B. 続き: NYMEX 無鉛ガソリン

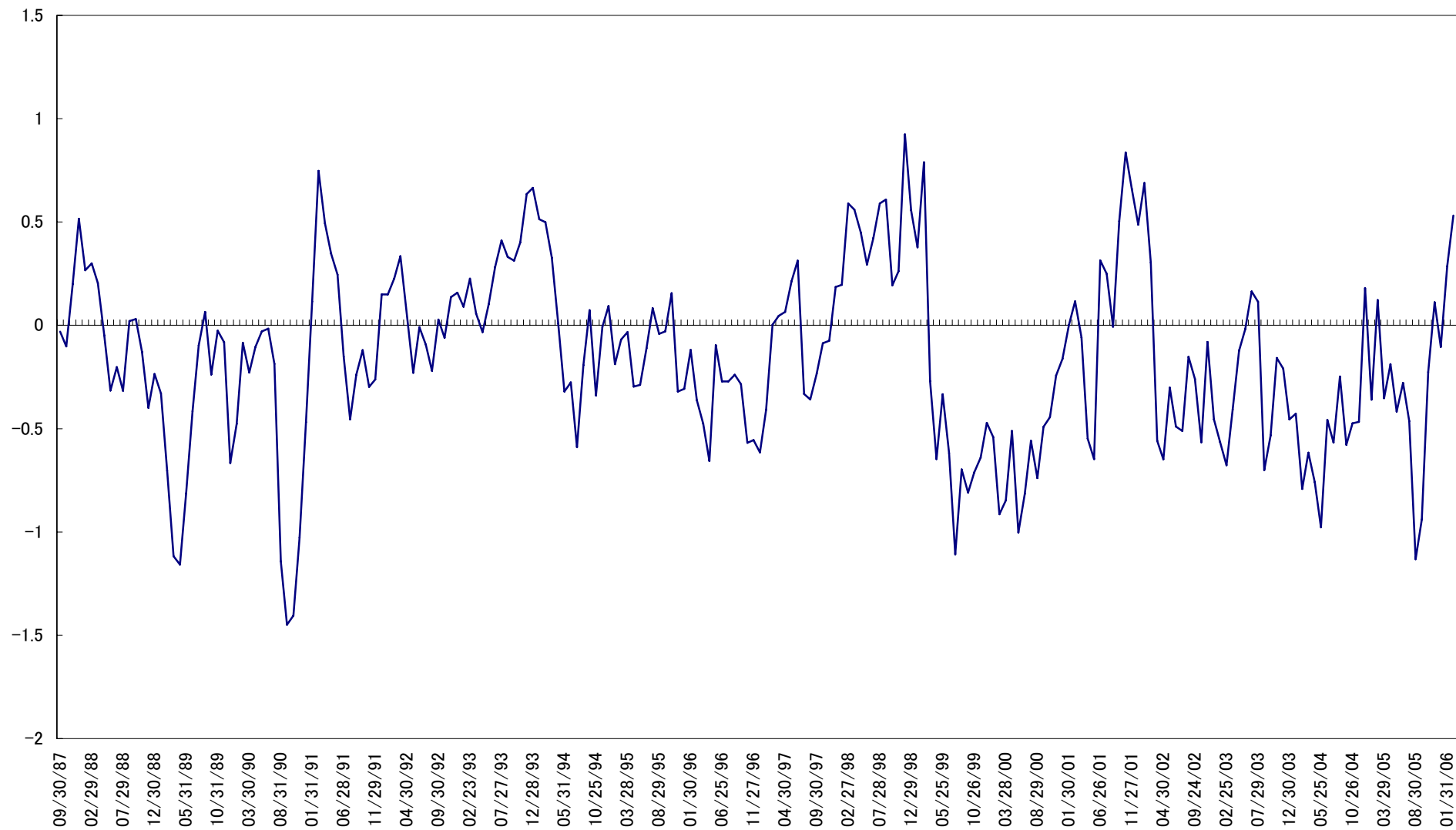


図1-C. 続き: NYMEX 暖房油

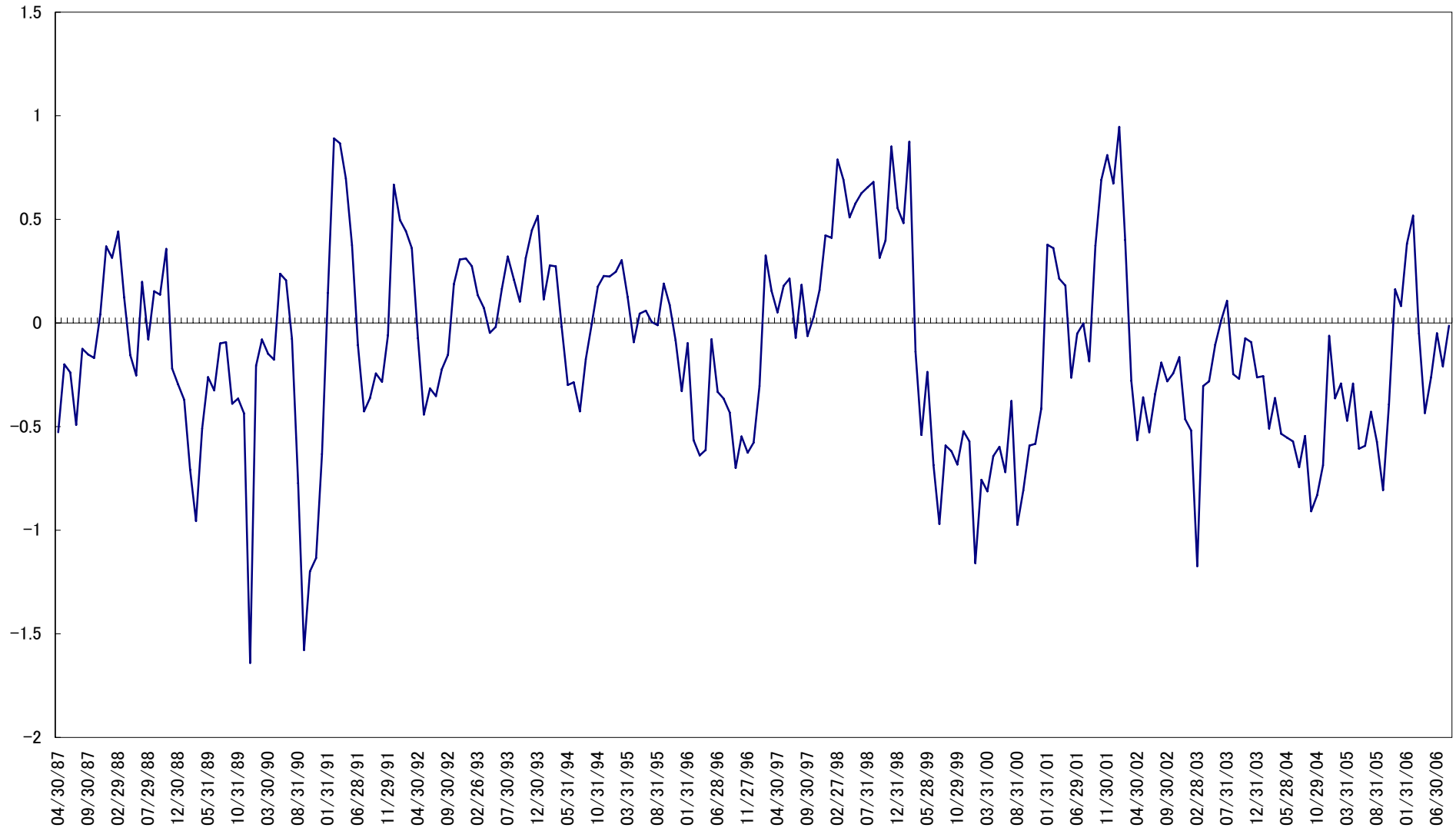
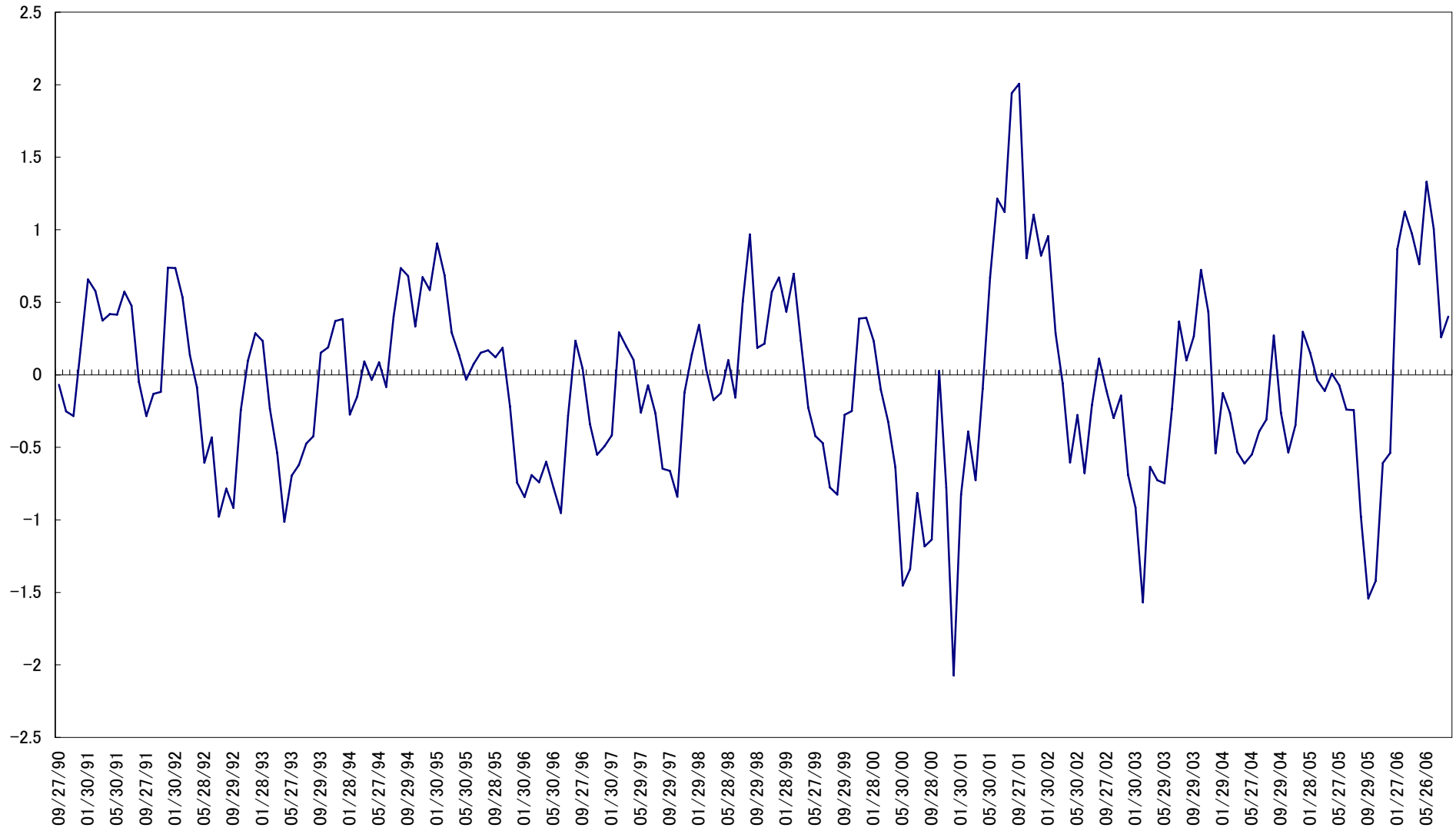


図1-D. 続き: NYMEX 天然ガス



図A-1: WTI原油の先物価格(1番・6番限)

