

## 原油価格予測におけるフォワード・カーブの有用性

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

原油価格の分析を行う際には、市場参加者の平均的な見方を示すものとして、フォワード・カーブがしばしば引用される。本論文では、原油価格の予測において、フォワード・カーブが実際にどの程度有益な情報を与えているのかを定量的に検証した。

予測におけるフォワード・カーブの有用性は確認できるものの、その効果は原油価格予測の困難さと比較すれば限定的である。また、実質的に有用なのは、日次であればおよそ1週間先、週次でおよそ1ヶ月先までの予測に限られる。さらに長期の予測においては、フォワード・カーブの有用性は薄いといえる。

### 1. 原油価格の推移とフォワード・カーブ

原油価格<sup>1</sup>は2009年6月9日に約7ヶ月ぶりに\$70/bblを超え、11日には\$72.68/bblを記録した。この1ヶ月の上昇幅は\$14/bblにも達し、急速な値上がりは世界経済の重しになるのではないかと懸念されている。5月には米国の原油在庫が19年ぶりの高水準に達するなど、需給は総じて緩い状態にあった。しかし、ここに来て世界景気回復への期待が出てきたこと、金融緩和の副作用などが原油価格の急速な上昇の背景をなしているとされる。

図1 原油価格の推移

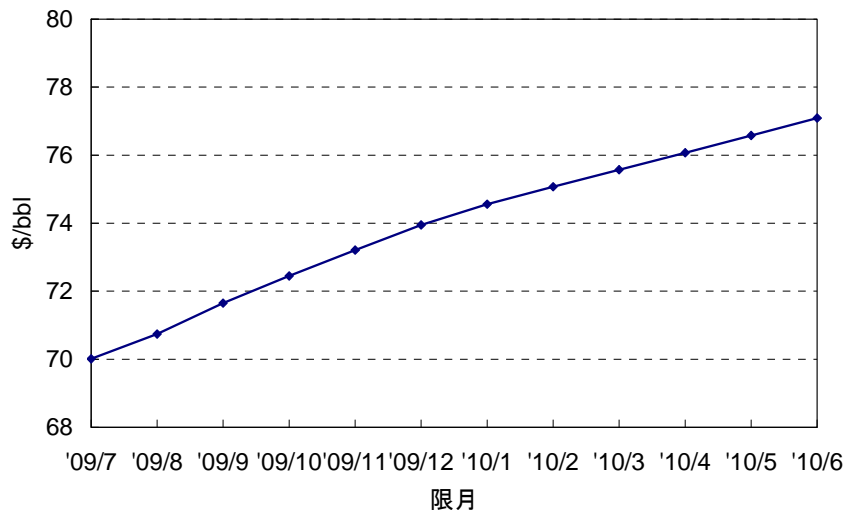


出所: 米国エネルギー省

<sup>1</sup> ニューヨーク商品取引所(NYMEX)のLight Sweet Crude Oil、当限、いわゆるWTI価格。終値ベース。

先物価格を限月順に並べたフォワード・カーブは、現在、期先物ほど高い順ざや(コンタンゴ)となっている。これは、市場が原油価格の将来の上昇を見込んでいる表れであるとも言われている。

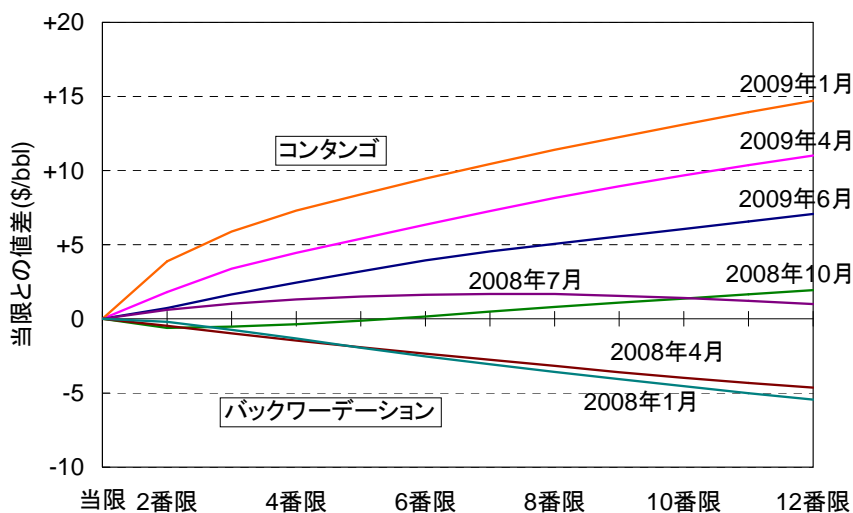
図2 フォワード・カーブ(2009年6月9日)



出所: NYMEX

これまで原油価格のフォワード・カーブは逆ざや(バックワーデーション)となることが一般には多かった。しかし、フォワード・カーブは時期により異なる形を示してきている。例えば、原油価格が\$40/bbl台をつけていた2009年1月にはかなり急なコンタンゴとなっており、将来の原油価格上昇を示しているものとされた。

図3 フォワード・カーブの変遷



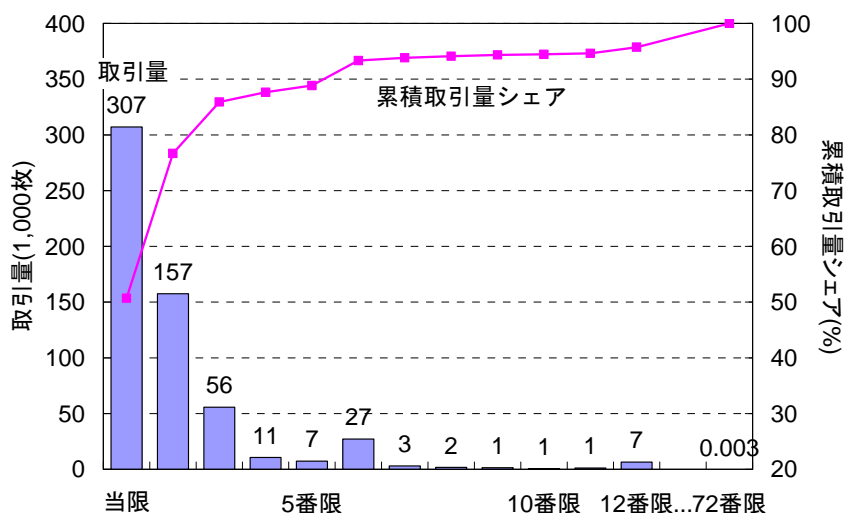
出所: NYMEX

フォワード・カーブは市場参加者の平均的な見方を示していると考えられている。同時に、フォワード・カーブからは継続的に、遅れなく、かつ、数値という極めて明瞭な形で将来に関連する情報が得られることから、原油価格の予測において判断材料の1つとされている。

では、フォワード・カーブは予測において、実際どの程度有益な情報を与えているのであろうか。以下ではフォワード・カーブの有用性について、原油価格に関する時系列モデルを用いて定量的な分析を行う。

なお、NYMEXでは現在、最長で2017年12月物の取引が行われているが、取引の約9割は至近の数ヶ月に集中している(図4)。これに対し、超長期物は取引量が極端に少なく、例えば、2017年12月物の取引量はわずかに3枚に過ぎない(2009年6月19日)。このため、期先になるほど価格の信頼性が相対的に低くなることも考えられるため、本論文ではフォワード・カーブとして、当限に加え3限月先まで(2番限～4番限)の価格を取り上げることとする。そのため、年を超えるような予測については、事実上、分析の中心から外れることになる。

図4 限月別取引量と累積シェア(2009年6月9日)



出所: NYMEX

## 2. フォワード・カーブの有用性判断とGrangerの因果関係

### 2.1 原油価格の定常性

定量的な分析をするにあたり、まず、原油価格の定常性<sup>2</sup>について考える。非定常な場合で特に問題となるのは、特性方程式が単位根を持つ場合である。単位根を持つ1次の自己回帰(AR)モデルはランダム・ウォークと呼ばれ、その最適予測は最新値そのものであることが知られている。言い換えれば、原油価格がランダム・ウォークであると仮定すると、フォワード・カーブはおろか、最新値を除くすべての情報が予測の役に立たないという結

<sup>2</sup> 定常な時系列データとは、山本(1988)によれば「一定の平均値の回りをある程度の規則性を持って周期的に変動しているデータ」である。

論が即座に導かれる。

予測しがたい原油価格にも、背後に何がしかの構造があると一般には考えられており、多くの人がそれを考察することにより予測を行おうと努めている。定量的な分析の前提としてはやや似つかわしくないかもしれないが、それらの状況などを勘案し、原油価格が定常であるものと仮定して話をすすめることとする<sup>3</sup>。

## 2.2 フォワード・カーブの有用性とGrangerの因果関係

以下では、原油価格の予測におけるフォワード・カーブの有用性の有無をGrangerの因果関係により判断する。

Grangerの因果関係は、 $x_t$ の予測を行うとき、過去の $z_t$ の情報 $\{\dots, z_{t-3}, z_{t-2}, z_{t-1}\}$ を用いることで予測の平均2乗誤差を減少させるか否か、すなわち平均的に見て予測の役に立つかどうかで判断される。Grangerの因果関係は極めて数学的に定義されたものであり、ときに「因果」という言葉に対する一般の理解と異なる印象を与えることもある。しかし、この定義は、原油価格の予測におけるフォワード・カーブの有用性判断にはちょうど沿うものである。

Grangerの因果関係を検定するGranger (Granger=Sargent)のテストは、

$$x_t = a_1 x_{t-1} + a_2 x_{t-2} + \dots + a_p x_{t-p} + u_t$$

の推計残差の2乗和 $\sum \hat{u}_t^2$ に比べ

$$x_t = a_1 x_{t-1} + a_2 x_{t-2} + \dots + a_p x_{t-p} + b_1 z_{t-1} + b_2 z_{t-2} + \dots + b_p z_{t-p} + v_t$$

の推計残差の2乗和 $\sum \hat{v}_t^2$ が有意に小さいかどうかを検定するものである。 $\sum \hat{v}_t^2$ が $\sum \hat{u}_t^2$ より有意に小さい場合、 $z_t$ から $x_t$ へのGrangerの因果関係があるという。

## 3. 実証分析

### 3.1 予測におけるフォワード・カーブの有用性

ここでは、原油価格の予測において、2番限～4番限の価格情報が有用であるか否かを分析する。すなわち、期先物の価格から原油価格へのGrangerの因果関係の有無を検証する。

分析は日次、週次、月次ベースで行うこととし、それぞれベクトル型自己回帰(VAR)モデルを構築した。推計期間は表1の通りである。

<sup>3</sup> 原油価格の定常性についてAugmented Dickey-Fullerテストを行った結果、有意水準10%でも非定常性の帰無仮説を棄却できず、非定常である可能性を否定できなかった。しかし、検定の常であるが、これをもって原油価格が非定常であると判断されたわけではない。

表1 推計期間

	開始期	終了期	サンプル数
日次	2004年1月4日	2009年6月2日	1,357
週次	2004年1月第1週	2009年5月第5週	283
月次	2004年1月	2009年5月	65

各モデルにおけるラグの長さは、赤池情報量規準(AIC)を参考に日次は5期、週次は4期、月次は3期とした。構築したモデルの概要を5. 参考 に示す。月次モデルは、係数の符号条件などから判断して、合理的ではないと考えられる推計結果がほとんどであった。週次モデルでも2番限と3番限を同時に用いた場合と、2番限～4番限を同時に用いた場合は、合理的ではないと考えられる推計結果となった<sup>4</sup>。

次いで、構築したモデルに基づいてGrangerのテストを行った。帰無仮説は「期先物の価格から原油価格へのGrangerの因果関係がない」である。この帰無仮説が棄却されると期先物の価格から原油価格へのGrangerの因果関係があることになり、原油価格予測におけるフォワード・カーブの有用性が統計的に認められる。テストの結果は表2の通りである。

表2 Grangerのテストの結果(P値)

帰無仮説	2番限から原油価格へのGrangerの因果関係がない	3番限から～	4番限から～	2番限&3番限から～	3番限&4番限から～	2番限&3番限&4番限から～
日次	0.003 **	0.133	0.376	0.000 **	0.009 **	0.000 **
週次	0.005 **	0.009 **	0.009 **	0.001 **	0.006 **	0.005 **
月次	0.191	0.282	0.325	0.036 *	0.217	0.120

注1: \*\*: 1%有意, \*: 5%有意を示す

注2: 取り消し線はモデルとして合理的でないと考えられるものを示す

帰無仮説が棄却されたのは、日次の4つのモデル、週次の4つのモデル、合わせて8つである。すなわち、日次、週次ベースでは原油価格の予測において、フォワード・カーブが有用なケースがあることが示される。

一方、月次ベースでは合理的なモデルがほとんど得られなかったため、原油価格の予測におけるフォワード・カーブの有用性は判断できなかった。

### 3.2 フォワード・カーブを予測に用いる効果

では、フォワード・カーブは実際どの程度、予測の役に立つのであろうか。予測精度を表す標準誤差は表3の通りである。

<sup>4</sup> 以下において、これらに関する結果も示すが、考察の対象とはしない。

表3 標準誤差

	基準解	2番限追加	3番限追加	4番限追加	2番限& 3番限追加	3番限& 4番限追加	2番限& 3番限& 4番限追加
日次	1.818	1.809	1.816	1.818	1.782	1.809	1.785
週次	2.955	2.897	2.904	2.905	2.858	2.884	2.867
月次	5.642	5.557	5.604	5.618	5.282	5.526	5.389

注: 取り消し線はモデルとして合理的でないと考えられるものを示す

より直感的に示すため、1期先予測の結果からサンプルとして各月初めの予測誤差を抽出したものを図5、図6に示す。

図5 1期先予測誤差、日次、2&3&4番限追加

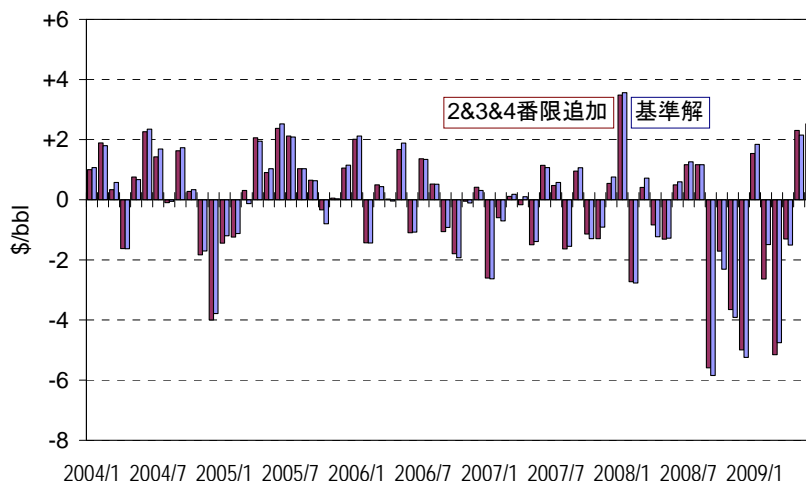
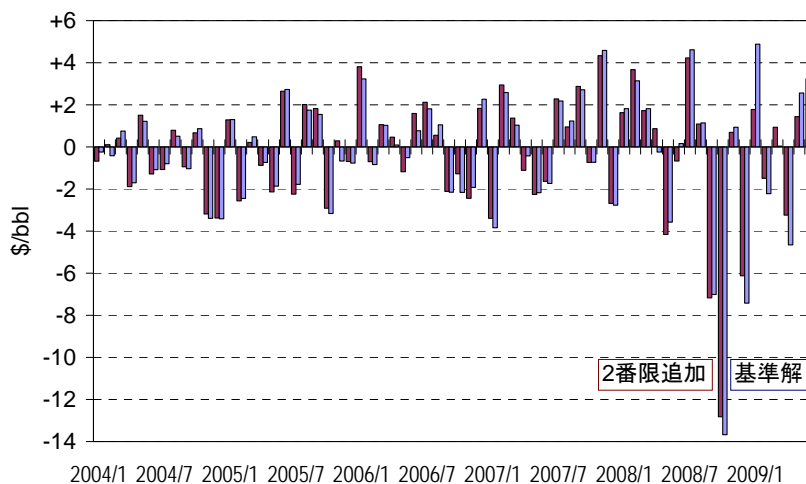


図6 1期先予測誤差、週次、2番限追加



週次で2番限を加えたときの2009年初のように、予測誤差をかなり縮めている場合もある。しかし、全体的な印象としては、予測誤差の大きさと比較すると改善幅は限定的である。

前節の結果とあわせて考えれば、フォワード・カーブは原油価格の予測において、日次、週次ベースでは有用であると統計的に判断されるが、その効果はそれほど大きなものではないといえる。

### 3.3 さらに先の予測におけるフォワード・カーブの有用性

これまでは1期先の予測について考えてきたが、では、フォワード・カーブはどの程度先の予測にまで有用なのであろうか。日次と週次を対象に、同様のモデルを構築し、Grangerのテストを行った結果を表4、表5に示す。

表4 Grangerのテストの結果(P値)、日次

帰無仮説	2番限から原油価格へのGrangerの因果関係がない	3番限から～	4番限から～	2番限&3番限から～	3番限&4番限から～	2番限&3番限&4番限から～
1期先予測	0.003 **	0.133	0.376	0.000 **	0.009 **	0.000 **
2 //	0.012 *	0.224	0.473	0.000 **	0.003 **	0.000 **
3 //	0.029 *	0.196	0.306	0.000 **	0.000 **	0.000 **
4 //	0.018 *	0.096	0.161	0.000 **	0.000 **	0.000 **
5 //	0.026 *	0.127	0.193	0.000 **	0.000 **	0.000 **
6 //	0.017 *	0.095	0.158	0.000 **	0.000 **	0.000 **
7 //	0.102	0.324	0.405	0.000 **	0.000 **	0.000 **
8 //	0.374	0.789	0.768	0.000 **	0.000 **	0.000 **

表5 Grangerのテストの結果(P値)、週次

帰無仮説	2番限から原油価格へのGrangerの因果関係がない	3番限から～	4番限から～	2番限&3番限から～	3番限&4番限から～	2番限&3番限&4番限から～
1期先予測	0.005 **	0.009 **	0.009 **	0.004 **	0.006 **	0.005 **
2 //	0.005 **	0.016 *	0.016 *	0.000 **	0.004 **	0.000 **
3 //	0.013 *	0.052	0.052	0.000 **	0.000 **	0.000 **
4 //	0.006 **	0.017 *	0.016 *	0.000 **	0.000 **	0.000 **
5 //	0.004 **	0.006 **	0.005 **	0.000 **	0.000 **	0.000 **
6 //	0.006 **	0.006 **	0.005 **	0.000 **	0.000 **	0.000 **
7 //	0.065	0.058	0.047 *	0.000 **	0.000 **	0.000 **
8 //	0.083	0.091	0.080	0.000 **	0.000 **	0.000 **

注1: \*\*: 1%有意, \*: 5%有意を示す

注2: 取り消し線はモデルとして合理的でないと考えられるものを示す

日次では最長6期先、週次では最長7期先の予測において、「期先物の価格から原油価格へのGrangerの因果関係がない」という帰無仮説が棄却される。しかし、週次の推計精度を見ると、決定係数 $R^2$ が0.9を上回るのはおよそ4期先までである。総合的に判断すれば、フォワード・カーブが実質的に有用なのは、日次でおよそ1週間先、週次でおよそ1ヶ月先までの予測に限られるといえよう。

フォワード・カーブを用いることによる予測精度向上の効果を見るために、1期先の予測のときと同様に、予測の結果からサンプルとして各月初めの予測誤差を抽出したものを図7、図8に示す。

図7 5期先予測誤差、日次、2番限追加

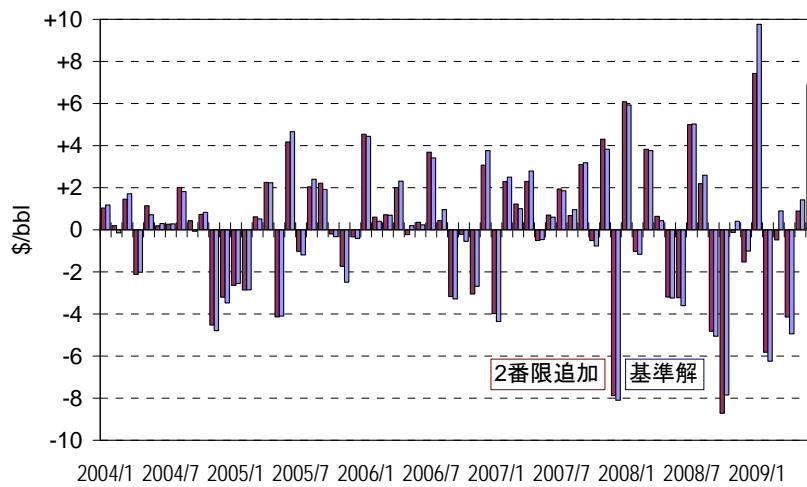
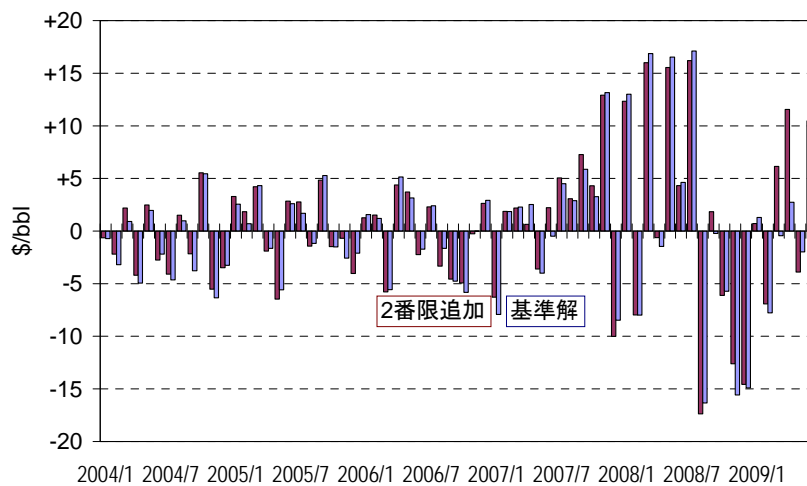


図8 4期先予測誤差、週次、2番限追加



いずれも、1期先予測の場合と全体的な傾向は変わらず、予測誤差の大きさと比べると



フォワード・カーブを用いたことによる改善は限定的であるといえよう。

#### 4. むすびに

原油価格の分析を行う際には、市場参加者の平均的な見方を示すものとして、フォワード・カーブがしばしば引用される。日次、週次ベースでは、予測におけるフォワード・カーブの有用性は確認できるものの、その効果は原油価格予測の困難さと比較すれば限定的である。また、フォワード・カーブが実質的に有用なのは、日次であればおよそ1週間先、週次でおよそ1ヶ月先までの予測に限られる。言い換えると、長期の予測においては、フォワード・カーブの有用性は薄いといえる。

フォワード・カーブが短期の予測でしか有用でなく、しかも、限定的な効果しか持ち得ない理由としては、

- ・将来の不測の事象に関する情報が織り込まれていないこと<sup>5</sup>、
- ・需要と供給の均衡をもたらす価格は、需給という不確定な2要素の予測の掛けあわせであり、予測の精度が低くなりがちであること、
- ・原油は極めて価格非弾力的な需要曲線・供給曲線を持ち、需給のわずかな変化が価格の大きな変動につながること

などがあげられよう。さらに、予測そのものの性質として、

- ・予測は過去の傾向、同時に、過去の予測を引きずりがちであること、
- ・予測にはケインズの「美人投票」の効果があること、さらに
- ・予測の修正は一般に緩慢にしか行われないこと

なども要因であろう。

なお、今回はモデル化において期先物の価格をそのままモデルに組み込んだが、データの性質を考えると、多重共線のリスクがある。フォワード・カーブの持つ情報をよりの確に捉えるためには、主成分分析などを施した上での分析なども考えられよう。

---

<sup>5</sup> 事前に分からないからこそ、不測という。

## 5. 参考: モデルの概要

表6 日次モデルの概要(当限価格の方程式)

	方程式(内生変数)						
	F1	F1, F2	F1, F3	F1, F4	F1, F2, F3	F1, F3, F4	F1, F2, F3, F4
F1(-1)	0.918 (33.802)	0.719 (7.083)	0.842 (9.585)	0.880 (11.145)	0.390 (3.346)	0.752 (7.990)	0.376 (3.200)
F1(-2)	0.030 (0.805)	0.113 (0.928)	0.054 (0.480)	0.039 (0.377)	0.097 (0.755)	0.035 (0.303)	0.087 (0.676)
F1(-3)	0.068 (1.842)	0.312 (2.550)	0.205 (1.817)	0.156 (1.513)	0.410 (3.195)	0.218 (1.900)	0.401 (3.093)
F1(-4)	0.041 (1.101)	0.204 (1.673)	0.157 (1.389)	0.134 (1.293)	0.231 (1.803)	0.148 (1.287)	0.217 (1.676)
F1(-5)	-0.060 (-2.195)	-0.379 (-3.753)	-0.263 (-3.009)	-0.208 (-2.641)	-0.609 (-5.247)	-0.373 (-3.918)	-0.634 (-5.270)
F2(-1)		0.222 (2.021)			2.604 (5.207)		2.822 (5.015)
F2(-2)		-0.089 (-0.669)			-1.372 (-1.969)		-1.417 (-1.913)
F2(-3)		-0.281 (-2.098)			-1.206 (-1.706)		-1.135 (-1.505)
F2(-4)		-0.182 (-1.366)			-0.448 (-0.645)		-0.380 (-0.513)
F2(-5)		0.359 (3.304)			1.597 (3.410)		1.764 (3.188)
F3(-1)			0.088 (0.899)		-2.105 (-4.708)	0.810 (2.095)	-2.562 (-3.283)
F3(-2)			-0.026 (-0.206)		1.356 (2.036)	-0.120 (-0.289)	1.532 (1.651)
F3(-3)			-0.165 (-1.293)		0.841 (1.240)	-0.625 (-1.498)	0.699 (0.738)
F3(-4)			-0.136 (-1.067)		0.244 (0.368)	-0.092 (-0.223)	0.115 (0.124)
F3(-5)			0.240 (2.474)		-1.032 (-2.424)	0.939 (2.460)	-1.290 (-1.651)
F4(-1)				0.045 (0.499)		-0.643 (-1.836)	0.254 (0.628)
F4(-2)				-0.010 (-0.081)		0.119 (0.311)	-0.122 (-0.295)
F4(-3)				-0.109 (-0.921)		0.455 (1.177)	0.080 (0.193)
F4(-4)				-0.112 (-0.950)		-0.034 (-0.088)	0.076 (0.185)
F4(-5)				0.181 (2.039)		-0.590 (-1.720)	0.114 (0.289)
定数項	0.257 (1.779)	0.213 (1.351)	0.253 (1.610)	0.270 (1.743)	0.160 (1.027)	0.092 (0.561)	0.213 (1.269)
R <sup>2</sup>	0.994	0.994	0.994	0.994	0.995	0.994	0.995

説明変数

注1: F1は当限の価格、F2は2番限、F3は3番限、F4は4番限を指す。

注2: F1(-1)は当限の前期の価格を指す。他同じ。

注3: 下段カッコ内はt値を示す。

表7 週次モデルの概要(当限価格の方程式)

		方程式(内生変数)						
		F1	F1, F2	F1, F3	F1, F4	F1, F2, F3	F1, F3, F4	F1, F2, F3, F4
説明変数	F1(-1)	1.167 (19.519)	1.597 (4.989)	1.492 (6.610)	1.441 (7.390)	0.854 (1.646)	1.227 (3.454)	0.757 (1.393)
	F1(-2)	-0.090 (-0.979)	-1.060 (-2.782)	-0.703 (-2.491)	-0.580 (-2.320)	-1.708 (-3.057)	-1.066 (-2.722)	-1.733 (-2.997)
	F1(-3)	-0.004 (-0.048)	-0.510 (-1.335)	-0.384 (-1.356)	-0.352 (-1.406)	-0.524 (-0.947)	-0.259 (-0.654)	-0.657 (-1.155)
	F1(-4)	-0.087 (-1.453)	0.910 (2.842)	0.589 (2.593)	0.497 (2.535)	0.460 (0.901)	0.258 (0.730)	0.471 (0.867)
	F2(-1)		-0.473 (-1.382)			1.579 (1.039)		2.519 (1.118)
	F2(-2)		1.107 (2.715)			2.997 (1.696)		3.452 (1.431)
	F2(-3)		0.438 (1.090)			-0.163 (-0.094)		1.465 (0.604)
	F2(-4)		-1.023 (-3.114)			0.128 (0.090)		-1.341 (-0.610)
	F3(-1)			-0.374 (-1.514)		-1.352 (-1.242)	0.474 (0.224)	-3.412 (-0.798)
	F3(-2)			0.748 (2.431)		-1.254 (-0.940)	3.515 (1.367)	-2.185 (-0.455)
	F3(-3)			0.330 (1.082)		0.649 (0.491)	-1.695 (-0.665)	-3.517 (-0.729)
	F3(-4)			-0.712 (-3.007)		-0.676 (-0.670)	1.114 (0.560)	3.901 (0.952)
	F4(-1)				-0.327 (-1.510)		-0.603 (-0.325)	1.222 (0.462)
	F4(-2)				0.628 (2.261)		-2.441 (-1.052)	0.498 (0.159)
	F4(-3)				0.308 (1.123)		1.950 (0.848)	2.702 (0.870)
	F4(-4)				-0.629 (-3.030)		-1.484 (-0.853)	-3.151 (-1.259)
	定数項	0.989 (1.931)	0.900 (1.635)	0.999 (1.833)	1.043 (1.938)	0.469 (0.838)	0.388 (0.653)	0.630 (1.045)
	$R^2$	0.985	0.986	0.986	0.986	0.986	0.986	0.987

注1: F1は当限の価格、F2は2番限、F3は3番限、F4は4番限を指す。

注2: F1(-1)は当限の前期の価格を指す。他同じ。

注3: 下段カッコ内はt値を示す。

表8 月次モデルの概要(当限価格の方程式)

	方程式						
	F1	F1, F2	F1, F3	F1, F4	F1, F2, F3	F1, F3, F4	F1, F2, F3, F4
F1(-1)	1.364 (10.870)	-1.233 (-1.015)	-0.127 (-0.159)	0.207 (0.315)	-9.201 (-2.974)	-3.540 (-1.895)	-10.491 (-2.917)
F1(-2)	-0.211 (-0.982)	2.991 (1.705)	1.783 (1.506)	1.416 (1.417)	-0.222 (-0.077)	1.548 (0.871)	-1.476 (-0.411)
F1(-3)	-0.243 (-1.962)	-1.604 (-1.308)	-1.096 (-1.360)	-0.951 (-1.426)	-3.911 (-1.355)	-2.365 (-1.402)	-4.326 (-1.178)
F2(-1)		2.710 (2.159)			21.830 (2.854)		31.574 (2.301)
F2(-2)		-3.354 (-1.825)			8.015 (0.984)		11.822 (0.831)
F2(-3)		1.410 (1.111)			2.390 (0.340)		4.480 (0.324)
F3(-1)			1.602 (1.913)		-11.282 (-2.355)	16.124 (1.948)	-29.572 (-1.400)
F3(-2)			-2.153 (-1.700)		-8.176 (-1.444)	1.683 (0.176)	-10.616 (-0.474)
F3(-3)			0.909 (1.072)		1.530 (0.346)	2.185 (0.297)	-1.715 (-0.086)
F4(-1)				1.271 (1.809)		-11.179 (-1.680)	9.840 (0.893)
F4(-2)				-1.796 (-1.656)		-3.660 (-0.444)	-0.102 (-0.008)
F4(-3)				0.770 (1.086)		0.171 (0.029)	1.544 (0.154)
定数項	6.091 (2.917)	4.872 (2.171)	5.158 (2.321)	5.301 (2.411)	0.038 (0.014)	0.468 (0.146)	1.163 (0.362)
$R^2$	0.947	0.951	0.950	0.950	0.958	0.954	0.959

注1: F1は当限の価格、F2は2番限、F3は3番限、F4は4番限を指す。

注2: F1(-1)は当限の前期の価格を指す。他同じ。

注3: 下段カッコ内はt値を示す。

#### 参考文献

山本 拓(1988), 「経済の時系列分析」, 創文社

お問い合わせ: report@tky.ieej.or.jp