

マネタリーモデルによる 為替レート決定理論の試み —「ソロスチャート」再考—

安 達 誠 司

要 旨

長らく、実務上、「常識」とされた「金利差が為替レート変動を決める」というアプローチは、リーマンショック後の先進国によるゼロ金利・量的緩和政策の採用によって有効性を失っている。一方、従来は、アドホックなアプローチとして有効性が疑問視されてきた「ソロスチャート」は、「マネタリーアプローチ」を応用すると、理論的な定式化が可能であり、かつ、定量的にもVECモデルで有意な結果が得られると考えられる。また、為替レートとマネタリーベースの比率との間に時変的な相関を考慮すると、金融政策スタンスの変化が為替レートに大きな変動を与えうることを示唆する結果が得られた。

目 次

- | | |
|---|---|
| <p>I. ゼロ金利局面での為替レート決定メカニズム</p> <p>II. 「UIPパズル」と「キャリートレード」</p> <p> 1. 現実には当てはまらない「金利平価説」</p> <p> 2. 「UIPパズル」の下でのキャリートレードの有効性</p> <p> 3. 「キャリートレード」から「キャリートレードクラッシュ」へ</p> <p> 4. 「ファーマ回帰」</p> <p>III. マネタリーアプローチによる為替レート決定メ</p> | <p>カニズム</p> <p>IV. 「ソロスチャート」のVEC—対角化BEEKモデル表現</p> <p> 1. 「ソロスチャート」のVEC表現</p> <p> 2. ボラティリティの相関を考慮したVEC—対角化BEEKモデルの推定</p> <p> 3. リーマンショック前後のドル円レートの解釈</p> <p>V. 最後に</p> |
|---|---|

I. ゼロ金利局面での為替レート決定メカニズム

リーマンショックをきっかけに、多くの先

進国でゼロ金利・量的緩和政策（以下、ZIRP/QE政策¹⁾）が採用された。このZIRP/QE政策の採用によって、従来の為替レート予測が困難になっている。一般的に、「2カ国の通貨の相対的な価値を意味する為替レートは、当該

マネタリーモデルによる為替レート決定理論の試み

2カ国の短期金利差で決定される」というのが実務的な「常識」である。そのため、為替レートの予測は、当該2カ国の将来の金利をいかに正確に予測するかとほぼ同値であった。だが、先進国による ZIRP/QE 政策の採用とその長期化によって、従来の金利差と為替レートの関係が失われている。例えば、ドル円レートの予測を金利差でしようとしても、両国ともほぼゼロ金利なので、金利差はほとんど変動しない。それに対し、この間のドル円レートは1ドル=80円割れの状況から1ドル=120円を超える水準まで大きく変動した。「金利差が為替レートを決める」というロジックでは、ほとんど変動しない金利差による超過収益を狙って投資家が為替取引を行うという極めて奇妙な状態が現出したことになる。

このように、為替レート予想を2国間の短期金利差に基づいて行うという方法は、少なくとも ZIRP/QE 政策下ではミスリーディングなものになる可能性が高いと考えられる。

一方、ZIRP/QE 政策下での金融政策の操作目標は、多くの場合、政策金利から資金供給量（特に、中央銀行が供給する「マネタリーベース」）にシフトしている（2015年12月の利上げ実施前の FRB、現在の日本銀行、ECB）。

いわゆる「テイラールール」が金融政策分析の基本モデルになって以降、マネタリーベースやマネーサプライに代表される「Monetary Aggregates」は、金融政策分析の対象から外れて久しい。そのため、「資金供給量が為替レートを決める」という「マネタリー・アプローチ」もほとんど用いられることはなくなっていた。だが、実務的には、「ソロス・チャート」に代表されるように、マネタリーベースを金融政策の代理指標とし、これを用いて、為替

レートの分析、及び予測を行うアプローチが細々と続いていたこともまた事実である。

本稿では、あらためて「マネタリー・アプローチ」の観点から為替レートの決定メカニズムを考察することを目的としたものである。

II. 「UIP パズル」と「キャリートレード」

1. 現実には当てはまらない「金利平價説」

「マネタリーアプローチ」に基づく為替レート決定メカニズムを考察する前に、まずは、金利差と為替レートの関係についての議論を整理しておこう。

実は、実務上、半ば「常識化」している金利差と為替レートの関係は、本来の為替レート決定理論である「金利平價説（この場合、「カバーなし金利平價説）」と全く逆の立場に立っている。つまり、実務的には、「高金利国の通貨が将来的には増価する」という関係が「常識」であるが、「金利平價説」では「高金利国の通貨は減価する」のが正しい関係である。ところが、実際の為替市場では、「高金利国の通貨が増価する」という関係が観察されることが多い。それゆえ、「キャリートレード」という通貨投資戦略が有効となり、「FX 投資」という形態で、一般投資家の間にも為替取引が流行したのである。

2. 「UIP パズル」の下でのキャリートレードの有効性

ここでいう「キャリートレード」とは、「低金利通貨で調達した資金を、高金利通貨に交換

して運用する投資戦略」を指す。多少、冗長ではあるが、「キャリートレード」のロジックを、数値例を示しながら概説すると以下のようになる。

例えば、日本での1年物の借入金利が0.5%で、オーストラリアの1年物国債利回りが2.5%であったとしよう。まず、為替レートは1豪ドル=100円で変動せず、一定で推移すると仮定する。このとき、日本円で、満期1年で1億円の借入を行い、その円資金を1豪ドル=100円で豪ドルに交換し、その豪ドルの資金を1年物の豪ドル債で運用すれば、1年後には円の借入金利である50万円を支払っても200万円の金利差収入を得ることができる。

ただし、これは、為替レートが一定という仮定の話である。そこで、次にこの仮定を緩め、何らかの要因で、1年後の豪ドルレートが1豪ドル=50円になった(50%の円高を意味する)と仮定しよう。このとき、豪ドルで運用した資金を1年後に円に交換した場合の残高は5,125万円となる。そして、円の借入利子を支払うと、借金をして投資した1億円は5,075万円に目減りしてしまう。

だが、これも為替レートが50%円高になるという極端な仮定をおいた場合の「架空の話」である。外国為替市場が十分に効率的で「裁定」が取引で利益を獲得する余地がないとすれば、国内で調達した資金を豪ドルで運用して、満期時に日本円と交換する場合と、そのまま日本円で運用する場合とでは、資金の運用残高が同じになるように将来の為替レートが決まるはずである。これは「(カバーなしの)金利平価説」といわれる最も基本的な為替レートの決定理論である。

もし、「金利平価説」が成立すると仮定すれ

ば、この例では、1年後の豪ドルレートは、1豪ドル=98円(1.005億円=102.5万豪ドル)となる。現時点の為替レートが1豪ドル=100円であることを思い起こせば、「(カバーなしの)金利平価説」が成立する世界では、高金利通貨は将来減価することになる。すなわち、日本と比較して金利が高い国の通貨は、日本円との交換レートが下がる(安くなる)というのが「(カバーなしの)金利平価説」の帰結となる。

ところが、前述のように、現実の為替市場では、「金利平価説」と逆の動きがみられることが多い。つまり、高金利通貨は将来にわたって増価する傾向がある(前者の例では、円安豪ドル高になる)。これが、「キャリートレード」戦略の収益の源泉となっている。そして、為替予測の専門家である為替アナリストも、至極当然のように、高金利通貨の方が将来増価する可能性が高いと考え、そのように予測することが極めて多い。

もし、これが常に実現するのであれば、投資家は限界いっぱいまで低金利通貨で資金を調達して、それをすべて高金利通貨に交換して高金利通貨国の国債に投資すれば、金利差と同時に為替レート変動でも無限に利益を獲得できるはずである。このような収益機会を他の投資家が黙って見過ごす訳がないので、通貨取引の需要は、圧倒的に高金利通貨に集中し、高金利通貨は無現に増価していくはずである。だが、現実の為替市場ではそのようなことは起きていない。このように高金利通貨の増価にどこかの時点で歯止めがかかっているのだが、その理由は現在の経済学、及びファイナンスの理論では十分説明できていない。これは、「UIPパズル」と言われ、経済学の分野において未解決の「謎」の一つである。

マネタリーモデルによる為替レート決定理論の試み

以上から、「UIP パズル」の存在が、「キャリートレード」戦略の有効性を担保しているといえる。

3. 「キャリートレード」から「キャリートレード・クラッシュ」へ

だが、「キャリートレード」戦略にはある大きな問題が存在する。「単純に高金利通貨で運用していれば、金利差（キャリー）だけではなく、為替差益も上乘せされる」というのが「キャリートレード」戦略の「旨み」であった。だが、この「旨み」は、「(カバーなし)金利平価説」が有効に機能し、高金利通貨が下落してしまうと失われてしまう。特にキャリートレードの場合、それまで、「(カバーなし)金利平価説」とは逆の関係が成立することで通貨が上昇していた分、その「反動」としての下落幅が大きくなる場合が多い。その結果、実際の「キャリートレード」戦略では、これまで積み上げてきた収益をすべてふいにさせるか、もしくは、それ以上の損失を被るという事態が生じるケースも多々存在する。このような現象を「キャリートレード・クラッシュ」という。「キャリートレード」で収益を得るためには、この「キャリートレード・クラッシュ」をうまく回避する必要がある。

ゼロ金利・量的緩和政策が定着して以降の日本では、安定的に高い金利収入を期待して、多くの投資家が、対外金融資産、特に、高金利の新興国通貨への投資を拡大させた。特に、日本は、ゼロ金利・量的緩和による超低金利局面が定着して久しい。この間、「ミスエ・ワタナベ」という言葉に象徴的にみられるように、低金利で魅力のない国内資産を、為替リスクをとって、新興国の金融資産に投資する動きが当たり

前のように普及した。だが、この間にも高金利通貨が暴落する「キャリートレード・クラッシュ」が度々観察されている。

4. 「ファーマ回帰」

このように、「キャリートレード」は、「(カバーなしの)金利平価説」が成立しないことが前提となっている。そこで、ここでは、「(カバーなしの)金利平価説」が本当に統計的に成立しているか否かについて確認してみる。

多くの先行研究では、「(カバーなしの)金利平価説」が成立しているか否かを確認するために「キャリートレドリターン（キャリートレードの収益率）」を2国間の金利差で単純に回帰分析し、その係数が統計的に有意か否かをみるのがなされる。この分析の先駆者は2013年のノーベル経済学賞受賞者であるユージン・ファーマシカゴ大教授であるため、この回帰分析は「ファーマ回帰」と言われている。「ファーマ回帰」は、為替レート決定理論の研究においては、基礎的なツールであるため、多くの実証研究で追試がなされているが、その計測期間や分析対象の通貨によって結果はまちまちである²⁾。そこで、本稿では、1987年1月から2015年3月までのデータを用いてこの「ファーマ回帰」を推定する。計測期間を1987年からにしたのは、プラザ合意の影響によるノイズを排除する目的と、1987年頃から世界的に資本移動が活発化したと考えられることによる。

具体的に「ファーマ回帰」は、以下のように定式化される³⁾。

$$\Delta e_{t+1} = \alpha + \beta \cdot (l_t^* - l_t) + \epsilon_{t+1}$$

Δe_{t+1} ：為替レートの変化率（ただし、為替レートは、運用通貨／調達通貨で表現、 $(l_t^* - l_t)$ ：金利差（運用通貨国－調達通貨国）

ここで、注意すべきは、ここでの為替レート変化率は運用通貨に対し、調達通貨が下落した場合にプラスになる点である。例えば、日本円で資金を調達して豪ドルで運用した場合、円安豪ドル高になれば、キャリートレードで利益を上げることができる。例えば、キャリートレードを開始した時点で、1円=0.02豪ドルだった為替レートが、1円=0.01豪ドルの円安豪ドル高になった場合、為替レート変化率は、 $(0.01 \text{豪ドル} - 0.02 \text{豪ドル}) \div 0.02 \text{豪ドル} = \text{マイナス} 50\%$ となるが、キャリートレドリターンはプラス50%となる。つまり、両者の符合は逆になる。上の定式では、為替レートが「運用通貨高・調達通貨安」となった場合、 Δe_{t+1} がプラスになるように調整されている（すなわち、為替レート変化率と符号を逆にしてている）。

ところで、「金利平価説」では、日本円のまま、日本の金利で運用した場合と、日本円を豪ドルに交換して、オーストラリアの金利で運用した場合の収益が等しくなる。この場合、金利差（オーストラリアの金利－日本の金利）と為替レートの変化率にマイナスの符号をつけたものは等しくなる。

従って、「金利平価説」が成立する場合、 $\alpha = 0$ 、 $\beta = -1$ が成立するはずである。また、 $\beta > 0$ であれば、「キャリートレード」が有効な通貨投資戦略となる。

ここでの「ファーマ回帰」では、資金調達に利用される低金利通貨（「調達通貨」）を日本円、スイスフラン、米ドルとし、運用対象となる高金利通貨（「投資通貨」）を日本円、米ドル、英ポンド、スイスフラン、豪ドル、南アフリカランド、ニュージーランドドル、スウェーデンクローネ、デンマーククローネ、ノルウェークローネ、ポーランドズウォティ、チェ

コルナ、ハンガリーフォリントとし、調達通貨と運用通貨のペアを作った。また、本来、「キャリートレドリターン」は、金利差と為替レート変化率の和だが、本稿の目的は金利差で為替レート変動が説明できるか否かであるので、為替レート（通貨ペア）の変化率を用いた。

金利には各国の3ヵ月物の市場金利（LIBORなど）を用い、為替レートは対3ヵ月前比増減率の月次換算値としている⁴⁾。

なお、推定期間は基本的には1987年1月から2015年3月とした。ただし、カナダドルは1990年9月から、スイスフランは1989年2月から、英ポンドは1993年1月から、ハンガリーフォリントは1997年5月から、ニュージーランドドルは1990年5月から、チェココルナは1993年4月から、ポーランドズウォティは1994年4月から、南アフリカランドは1993年7月からとした。

推定結果は図表1の通りである。明らかに、「ファーマ回帰」では、「(カバーなしの)金利平価説」はすべての通貨で棄却される（「UIPパズル」の成立）。一方、「キャリートレード」が統計的に有意な通貨のペアは図表1の全組み合わせ39通りのうち、10通りにとどまった（図表1のシャドーの部分）。

これまでの先行研究のほとんどは、リーマンショック前までのデータを用いていたが、これらの先行研究の多くは、運用戦略としての「キャリートレード」の有効性（統計的に有意な $\beta > 0$ ）を示唆する内容であった。だが、リーマンショック後のデータを追加した結果、約4分の3弱の通貨ペアで、理論的には「キャリートレード」は有効性を失っているとの結果を得た。

図表1 「ファーマ回帰」の結果

調達通貨=USD				調達通貨=JPY				調達通貨=CHF			
	α	β	$adjR^2$		α	β	$adjR^2$		α	β	$adjR^2$
AUD	-0.395**	1.927***	0.027	AUD	-0.804**	1.772**	0.013	AUD	-0.617***	1.387**	0.012
S.E	0.168	0.628		S.E	0.361	0.831		S.E	0.238	0.708	
CAN	0.013	-0.522	0.002	CAN	-0.046	-0.052	0.000	CAN	-0.332**	1.624*	0.009
S.E	0.072	0.647		S.E	0.249	0.977		S.E	0.172	1.010	
CHF	0.333***	1.662***	0.024	CHF	0.118	0.493	0.000	USD	-0.333***	1.662***	0.024
S.E	0.114	0.597		S.E	0.157	1.268		S.E	0.114	0.597	
CZK	0.218	-0.759*	0.011	CZK	0.270	-0.399	0.003	CZK	-0.217**	0.634	0.008
S.E	0.146	0.448		S.E	0.219	0.429		S.E	0.076	0.402	
DKK	0.010	0.623	0.003	DKK	0.287	-1.249**	0.012	DKK	-0.097	-0.436	0.005
S.E	0.097	0.453		S.E	0.186	0.619		S.E	0.286	0.426	
GBP	-0.055	0.165	-0.003	GBP	-0.329	0.610	-0.001	GBP	-0.516***	1.286**	0.013
S.E	0.124	0.616		S.E	0.252	0.673		S.E	0.153	0.563	
HUF	0.554	-1.290*	0.006	HUF	0.739**	-1.302*	0.022	HUF	-0.050	0.445	0.000
S.E	0.394	0.667		S.E	0.439	0.593		S.E	0.158	1.278	
JPY	0.300**	0.997*	0.006	USD	-0.300**	0.997*	0.006	JPY	-0.118	0.493	0.000
S.E	0.149	0.571		S.E	0.149	0.571		S.E	0.157	1.268	
NOK	-0.099	0.735	0.007	NOK	0.190	-0.749	0.000	NOK	-0.065	-0.111	0.000
S.E	0.119	0.489		S.E	0.376	0.852		S.E	0.235	0.655	
NZD	-0.229	1.232	0.015	NZD	-0.005	-0.130	0.000	NZD	0.084	-0.572**	0.033
S.E	0.236	0.932		S.E	0.243	0.644		S.E	0.214	0.192	
SEK	-0.131	0.868	0.007	SEK	-0.159	0.212	-0.003	SEK	-0.279**	0.296	-0.002
S.E	0.114	0.465		S.E	0.247	0.715		S.E	0.138	0.581	
PLN	0.416*	-0.859**	0.075	PLN	0.413	-0.632**	0.019	PLN	-0.333**	1.662**	0.024
S.E	0.225	0.227		S.E	0.149	0.571		S.E	0.114	0.597	
ZAR	-0.900**	0.906	0.005	ZAR	0.191	-0.802	0.005	ZAR	-1.123***	0.805	0.002
S.E	0.422	0.779		S.E	0.519	0.677		S.E	0.430	0.630	

(注) 1) $\Delta e_{t+1} = \alpha + \beta \cdot (i_t^* - i_t) + \epsilon_{t+1}$ を推定した結果(ただし、誤差項にはNewly-Westを採用して系列相関に対処)

2) ***, **, *はそれぞれ1%, 5%, 10%水準で有意であったことを意味する。

3) S.Eは標準誤差を示す。

4) USD: 米ドル, JPY: 日本円, AUD: 豪ドル, CAN: カナダドル, CHF: スイスフラン, CZK: チェココロンナ, DKK: デンマーククローネ, GBP: 英ポンド, HUF: ハンガリーフォリント, NOK: ノルウェークローネ, NZD: ニュージーランドドル, SEK: スウェーデンクローネ, PLN: ポーランドズロチ, ZAR: 南アランド

[出所] FREDデータ等をより筆者推定

Ⅲ. マネタリーアプローチによる 為替レート決定メカニズム

為替レート決定理論には、もう一つのアプローチがある。それは、「マネタリーアプローチ」である。「マネタリーアプローチ」は、為替レートの説明変数として、金利を用いずに資金供給量を用いる為替レート決定理論である。特に、ここでは、資金供給量を「マネタリーベース」として、簡単なマネタリーアプローチによる為替レート決定理論を概説する。

簡単なマネタリーアプローチは以下の方程式

体系から成立している(以下、すべて、対数表示)。

(1) 内外マネタリーベースの需要関数(内外金融市場の均衡)⁵⁾

$$m_t - p_t = -\gamma \cdot i_t \quad (1)$$

$$m_t^* - p_t^* = -\gamma \cdot i_t^* \quad (2)$$

m_t : マネタリーベース, i_t : 短期金利, p_t : インフレ率, *は海外を示す。

(2) UIP

$$i_t - i_t^* = E_t s_{t+1} - s_t \quad (3)$$

s_t : 為替レート, $E_t s_{t+1}$: t期におけるt+1期の為替レートの条件付き期待値

(3) PPP (購買力平価)

$$s_t = p_t - p_t^* \quad (4)$$

以上の (1) ~ (4) の方程式体系から為替レートの均衡値を求める。

(1), (2) より,

$$i_t = -1/\gamma \cdot (m_t - p_t) \quad (1)'$$

$$i_t^* = -1/\gamma \cdot (m_t^* - p_t^*) \quad (2)'$$

(1)', (2)' を (3) に代入し, (4) を用いて整理すると,

$$s_t = (m_t - m_t^*) + \gamma (E_t s_{t+1} - s_t) \quad (5)$$

(5) を s_t について解くと,⁶⁾

$$s_t = -\frac{1}{1+\gamma} \cdot (m_t - m_t^*) + \frac{\gamma}{1+\gamma} E_t s_{t+1} \quad (6)$$

(6) を Recursive に解いていくと, 結局,

$$s_t = \frac{1}{1+\gamma} \sum_{j=0}^k \left(\frac{\gamma}{1+\gamma}\right)^j E_t (m_{t+j} - m_{t+j}^*) + \left(\frac{\gamma}{1+\gamma}\right)^{k+1} E_t s_{t+k+1} \quad (7)$$

ここで, Transversality condition が成立していると仮定すれば⁷⁾,

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \left(\frac{\gamma}{1+\gamma}\right)^k E_t s_{t+k} = 0$$

が成立するので,

$$s_t = \frac{1}{1+\gamma} \sum_{j=0}^k \left(\frac{\gamma}{1+\gamma}\right)^j E_t (m_{t+j} - m_{t+j}^*) \quad (8)$$

となる。

ここで, m_t と m_t^* の増加率が⁸⁾, 定常過程に従うとすると, 以下のように表現できる。

$$\Delta m_t - \Delta m_t^* = \rho (\Delta m_{t-1} - \Delta m_{t-1}^*) + \epsilon_t$$

$$\epsilon_t \sim n(0, \sigma_\epsilon^2), \quad 0 < \rho < 1$$

このとき,

$$E_t (\Delta m_{t+k} - \Delta m_{t+k}^*) = \rho^k (\Delta m_t - \Delta m_t^*)$$

これを水準に戻すと,

$$\begin{aligned} E_t (m_{t+k} - m_{t+k}^*) &= (m_t - m_t^*) + \sum_{i=1}^k \rho^i (\Delta m_t - \Delta m_t^*) \\ &= (m_t - m_t^*) + \frac{(1-\rho^k)\rho}{(1-\rho)} (\Delta m_t - \Delta m_t^*) \end{aligned} \quad (9)$$

(9) を (8) に代入して整理すると, 最終的には,

$$s_t = (m_t - m_t^*) + \frac{\rho\gamma}{1+(1-\rho)\gamma} (\Delta m_t - \Delta m_t^*) \quad (10)$$

以上より, 「マネタリーアプローチ」を用いれば, 為替レートは 2 国のマネタリーベースの比率の現在値, 及び過去の値で決定されることが理論的に導入できる⁸⁾。そして, これは, 「為替レートが 2 国のマネタリーベースの比率で決定される」とする「ソロスチャート」の考え方とほぼ一致する⁹⁾。

IV. 「ソロスチャート」の VEC—対角化 BEEK モデル表現

1. 「ソロスチャート」の VEC 表現

III. より, 「マネタリーアプローチ」を用いれば, 為替レートの変動を 2 国のマネタリーベースの比率で表現することが可能であると考えられる。ただし, 為替レートと 2 国のマネタリーベース比率の関係 (ここでは代表例としてドル円と日米マネタリーベース比率の関係をとりあげる) は, 常に一致した動きをしている訳ではなく, 大きく乖離することが多々ある。また, 明らかに為替レートの Volatility はマネタリーベース比率の Volatility より大きい¹⁰⁾。

そこで, この観察結果から, 以下のような仮説を立てることが可能であると考えられる。

(1) キャリートレードリターンとマネタリーベース比率の間には中長期的な均衡関係が存在する。

(2) 実際のキャリートレードリターンは, この均衡値とは乖離した動きをするが, 均衡値に回帰する動きを繰り返しているようにみえ

マネタリーモデルによる為替レート決定理論の試みる。

(3) 均衡値との乖離率も一定の範囲内に収まる（ある程度乖離幅が拡大すると、均衡値に回帰する動きに転換する。よって、実際のキャリートレードリターンがその均衡値から半永久的に乖離していく「合理的バブル解」のような動きにはなっていない。

また、マネタリーベース比率のパラメーターも重要な実証研究の対象である。パラメーターの符号が、「よりマネタリーベースが拡大した通貨が減価する」ようになっていけば、金利差モデル（これは、符号条件が UIP と異なる点が問題であった）の代替として「使える」ことになる。ここでは、調達通貨のマネタリーベースが運用通貨のマネタリーベースに対し、相対的に増加すると調達通貨の価値が下落するという関係で推定した。すなわち、マネタリーベースのパラメーターは有意にマイナスになることが望ましい。

そこで、以上の仮説を実証する計量経済的な手法として、ここでは「VEC (Vector Error-Correction) モデル」を考える。VEC モデルを適用するためには、使用する変数（ここでは、為替レートとマネタリーベース比率）がともに定常であり、かつ、2つの変数が「共和分 (Cointegration)」の関係にある必要がある。そこで、まず、Unit root Test と Johansen の共和分検定をそれぞれ、各通貨ペアについて行った。

Unit root Test の結果は、すべての通貨ペアについて、為替レート、マネタリーベース比率とも I (1) 過程（すなわち、1次階差が定常過程）に従うという結果となった¹¹⁾。次に Johansen の共和分検定であるが、調達通貨が US ドル、日本円、スイスフランのケースの各通貨ペアのうち、共和分の関係が 5% 有意水準で棄却されたのは、日本円とニュージーランドドルのペアのみであった (図表 2)。すなわ

図表 2 Johansen の共和分検定の結果

調達通貨 = USD					調達通貨 = JPY					調達通貨 = CHF				
	共和分の数	統計量	5%有意水準の Critical Value	p 値		共和分の数	統計量	5%有意水準の Critical Value	p 値		共和分の数	統計量	5%有意水準の Critical Value	p 値
USD_AUD	0 1	89.63 39.33	20.26 9.16	0.00 0.00	JPN_AUD	0 1	110.15 42.77	20.26 9.16	0.00 0.00	CHF_AUD	0 1	114.46 49.69	20.26 9.16	0.00 0.00
USD_CAN	0 1	92.54 39.38	20.26 9.16	0.00 0.00	JPY_CAN	0 1	91.56 18.57	20.26 9.16	0.00 0.00	CHF_CAN	0 1	119.51 52.60	20.26 9.16	0.00 0.00
USD_CHF	0 1	138.85 62.34	20.26 9.16	0.00 0.00	JPY_CHF	0 1	106.94 47.99	20.26 9.16	0.00 0.00	CHF_CZK	0 1	77.45 34.28	20.26 9.16	0.00 0.00
USD_CZK	0 1	61.76 27.24	20.26 9.16	0.00 0.00	JPY_CZK	0 1	60.55 14.73	20.26 9.16	0.00 0.00	CHF_DKK	0 1	85.11 32.69	20.26 9.16	0.00 0.00
USD_DKK	0 1	110.54 50.62	35.19 20.26	0.00 0.00	JPY_DKK	0 1	67.95 16.53	20.26 9.16	0.00 0.00	CHF_HUF	0 1	66.95 30.70	20.26 9.16	0.00 0.00
USD_HUF	0 1	66.15 23.72	20.26 9.16	0.00 0.00	JPY_HUF	0 1	77.20 30.53	20.26 9.16	0.00 0.00	CHF_JPY	0 1	107.38 49.02	20.26 9.16	0.00 0.00
USD_JPY	0 1	109.31 37.03	20.26 9.16	0.00 0.00	JPY_NOK	0 1	96.81 42.41	20.26 9.16	0.00 0.00	CHF_NOK	0 1	98.37 43.47	20.26 9.16	0.00 0.00
USD_NOK	0 1	113.78 54.59	20.26 9.16	0.00 0.00	JPY_NZD	0 1	29.54 7.03	20.26 9.16	0.00 0.00	CHF_NZD	0 1	40.77 16.24	20.26 9.16	0.00 0.00
USD_NZD	0 1	33.45 11.25	20.26 9.16	0.00 0.00	JPY_PLN	0 1	68.80 21.24	20.26 9.16	0.00 0.00	CHF_PLN	0 1	77.70 33.96	20.26 9.16	0.00 0.00
USD_PLN	0 1	65.93 27.28	20.26 9.16	0.00 0.00	JPY_SEK	0 1	82.69 21.56	20.26 9.16	0.00 0.00	CHF_SEK	0 1	80.05 33.66	20.26 9.16	0.00 0.00
USD_SEK	0 1	81.85 24.75	20.26 9.16	0.00 0.00	JPY_GBP	0 1	126.41 37.90	20.26 9.16	0.00 0.00	CHF_GBP	0 1	119.23 46.82	20.26 9.16	0.00 0.00
USD_GBP	0 1	143.95 64.47	20.26 9.16	0.00 0.00	JPY_USD	0 1	109.31 37.03	20.26 9.16	0.00 0.00	CHF_USD	0 1	138.85 62.34	20.26 9.16	0.00 0.00
USD_ZAR	0 1	76.88 30.48	20.26 9.16	0.00 0.00	JPY_ZAR	0 1	62.42 16.05	20.26 9.16	0.00 0.00	CHF_ZAR	0 1	96.21 44.34	20.26 9.16	0.00 0.00

[出所] FRED データ等より筆者推定

図表3 調達通貨が円の場合の為替レート変動のVECモデル

	JPY_AUD		JPY_CAN		JPY_CHF		JPY_CZK		JPY_DKK		JPY_HUF	
	パラメーター	S.E										
誤差修正項	-0.404	-0.046	-0.389	-0.048	-0.043	-0.012	-0.386	-0.056	-0.279	-0.040	-0.028	-0.019
△MB比率												
1期ラグ	-0.010	-0.004	-0.018	-0.005	-0.076	-0.018	-0.070	-0.019	-0.019	-0.055	-0.030	-0.024
2期ラグ	-0.062	-0.100	-0.025	-0.011	-0.006	-0.017	-0.017	-0.009	-0.081	-0.050	-0.027	-0.017
3期ラグ	-0.091	-0.040	-0.068	-0.087	-0.041	-0.017	-0.037	-0.007	-0.012	-0.050	-0.009	-0.015
4期ラグ	-0.002	-0.040	-0.004	-0.054	-0.039	-0.018	-0.118	-0.076	-0.056	-0.055	-0.002	-0.012
△AR項(自己系列)												
1期ラグ	0.521	0.057	-0.475	-0.060	0.293	0.058	0.347	0.067	-0.542	-0.057	0.091	0.080
2期ラグ	0.287	0.052	-0.281	-0.055	-0.017	-0.055	0.263	0.059	-0.090	-0.055	0.153	0.071
3期ラグ	-0.234	-0.054	-0.237	-0.058	-0.386	-0.057	-0.228	-0.063	-0.272	-0.055	-0.438	-0.081
4期ラグ	0.234	0.055	-0.218	-3.198	0.054	3.200	0.180	0.976	-0.212	-1.145	-0.097	-3.646
Adj R ²	0.429		0.378		0.301		0.317		0.377		0.272	
AIC	2.755		3.041		2.967		3.660		2.853		4.117	
BIC	2.905		3.206		3.124		3.840		3.002		4.352	
	JPY_NOK		JPY_PLN		JPY_SEK		JPY_GBP		JPY_USD		JPY_ZAR	
	パラメーター	S.E										
誤差修正項	-0.283	-0.044	-0.365	-0.053	-0.296	-0.040	-0.190	-0.032	-0.404	-0.046	-0.399	-0.063
△MB比率												
1期ラグ	-0.043	-0.012	-0.087	-0.041	-0.042	-0.013	-0.051	-0.013	-0.010	-0.041	-0.674	-0.311
2期ラグ	-0.042	-0.010	-0.029	-0.040	-0.005	-0.011	-0.041	-0.010	-0.062	-0.040	-0.841	-0.351
3期ラグ	-0.043	-0.010	-0.050	-0.041	-0.015	-0.011	-0.024	-0.010	-0.091	-0.040	-0.704	-0.325
4期ラグ	-0.032	-0.010	-0.086	-0.041	-0.047	-0.013	-0.032	-0.011	-0.002	-0.040	-0.854	-0.410
△AR項(自己系列)												
1期ラグ	-0.526	-0.059	-0.352	-0.065	-0.567	-0.056	-0.449	-0.057	-0.521	-0.057	0.515	0.075
2期ラグ	-0.163	-0.057	-0.269	-0.058	-0.112	-0.056	-0.108	-0.053	-0.287	-0.052	0.159	0.074
3期ラグ	-0.272	-0.056	-0.244	-0.061	-0.250	-0.055	-0.301	-0.055	-0.234	-0.055	-0.146	-0.074
4期ラグ	-0.155	-1.559	-0.176	-2.493	-0.266	-1.117	0.214	-3.092	0.234	-2.981	0.163	0.075
Adj R ²	0.397		0.327		0.383		0.346		0.429		0.361	
AIC	3.001		3.904		3.057		3.126		2.755		3.773	
BIC	3.150		4.083		3.207		3.276		2.905		3.993	

〔出所〕 FRED データ等より筆者推定

ち、本稿で検証する36通りの通貨ペアのうち、35のペアでVECモデルを適用可能であるという結果となった(ただし、両方とも1階の対数階差をとっているため、変化率でVECモデルを推定することになる)。

次に、共和分の関係が有意であった35の通貨ペアについてVECモデルを推定した。図表3は調達通貨が円の場合のVECモデルの推定結果を示している(ただし、共和分検定によって、共和分関係が棄却されたニュージーランドドルは除外してある)。マネタリーベースの項のパラメーターの値はすべてマイナスとなっており、理論の想定と同じになっている。

2. ボラティリティの相関を考慮したVEC-対角化BEEKモデルの推定

最近の資産価格変動の考察では、リターン

動きそのものに加え、そのVolatilityの変動も重要視されることが多い、為替レート変動の考察もその例外ではない。特に、金融政策スタンスの大きな変化をきっかけとして為替レートの水準が大きく変わる場合、特に、ZIRP/QE政策の局面では、為替レートの変動率と同時に、為替レートの変動とマネタリーベース比率の関係(共分散、もしくは相関)が大きく変化することも想定しうる。

そこで、ここでは、1.で考察したVECモデルの誤差項に対して多変量GARCHモデルを適用した「VEC-GARCHモデル」を推定する。

Maekawa and Setiawan [2014]によれば、VEC-GARCHモデルの推定に際しては、第一段階としてVECモデルを推定し、推定されたVECモデルの推定誤差に対して、第二段階で、

マネタリーモデルによる為替レート決定理論の試み

GARCH モデルを適用すればよいとされている。よって、6. で推定した VEC モデルをそのまま用い、その推定誤差に対して多変量 GARCH モデルを適用する。

ところで、今回のような為替レート収益率（変動率）とマネタリーベース比率の 2 変数からなる多変量 GARCH モデルの場合、2 変数の共分散が重要な意味をもつ。そのため、分散共分散行列の定式化が問題となる。さらに、技術的には、分散共分散行列は正値定符号行列である必要がある。そこで、本稿では、2 変数 GARCH モデルとして、分散共分散行列の正値定符号性が事前に保証されている「BEEK モデル」を用いる。

BEEK モデルの定式化は以下の通りである。

まず、VEC モデルにおける推定誤差 $U_t = [u_{1t}, u_{2t}]'$ とし、 U_t の条件付き分散共分散行列を以下のように仮定する。

$$H_t = \begin{bmatrix} h_{11t} & h_{21t} \\ h_{21t} & h_{22t} \end{bmatrix}$$

このとき、BEEK モデルは、以下のように表現できる。

$$H_t = \begin{bmatrix} h_{11t} & h_{21t} \\ h_{21t} & h_{22t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{21} \\ w_{21} & w_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{1t-1}^2 & u_{1t-1}u_{2t-1} \\ u_{1t-1}u_{2t-1} & u_{2t-1}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{21} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11t-1} & h_{12t-1} \\ h_{21t-1} & h_{22t-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{21} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix}$$

図表 4 ドル円レートにおける対角化 BEEK モデルの推定結果

	パラメーター	S.E	z-値	p 値
ω_{11}	1.187	0.126	9.417	0.000
ω_{22}	0.189	0.039	4.813	0.000
a11	0.811	0.069	11.843	0.000
a22	0.988	0.054	18.155	0.000
b11	0.608	0.119	5.128	0.000
b22	0.511	0.035	14.496	0.000

〔出所〕 FRED データ等より筆者推定

さらにここでは、推定するパラメーター数を減らすためにパラメーター行列をすべて対角行列とする「対角化 BEEK モデル」を推定した。よって、定式化は以下ようになる。

$$H_t = \begin{bmatrix} h_{11t} & h_{22t} \\ h_{22t} & h_{22t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11} & 0 \\ 0 & w_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & 0 \\ 0 & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{1t-1}^2 & u_{1t-1}u_{2t-1} \\ u_{1t-1}u_{2t-1} & u_{2t-1}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & 0 \\ 0 & a_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & 0 \\ 0 & b_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11t-1} & h_{12t-1} \\ h_{21t-1} & h_{22t-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{11} & 0 \\ 0 & b_{22} \end{bmatrix}$$

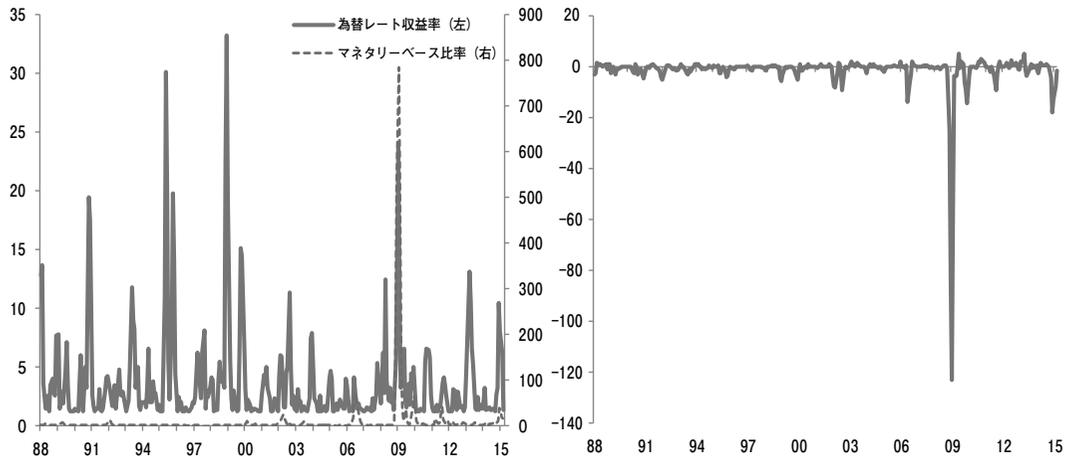
代表的な事例としてドル円レートの VEC-対角化 BEEK モデルの推定結果をみると図表 4 のようになった。

パラメーターの推定値はいずれも 5% 水準で有意であり、VEC モデルの誤差項に対角化 BEEK モデルを適用することが可能であると考えられる。

次に、対角化 BEEK モデルにおける為替レート収益率（ドル円）とマネタリーベース比率（この場合、日米）の条件付き分散、及び、両者の条件付き共分散の推移をみたのが、図表 5 である。

図表 5 では、為替レート収益率の Conditional Volatility 自体の変動はかなり大きい一方、マネタリーベース比率の Conditional Volatility は、リーマンショック直後に著しく上昇したものの、それ以外は比較的安定していることがわかる。

図表5 対角化 BEEK モデルで推定された Conditional Volatility (左) と Conditional Covariance (右) の推移



〔出所〕 FRED データ等より筆者推定

また、Conditional Covarianceの変動は、為替レート変動率とマネタリーベース比率の相関の時系列的な変動を意味するが、リーマンショック直後の大幅な変動の他に数回の比較的大きな変動が観察される。例えば、1998年、及び1999年半ばから2000年初めにかけて、2003年初め、2005年終わりから2006年初めにかけて、2010年後半、及び2012年後半である。

これらの局面はいずれも、ドル円レートがその水準を短期間で大きく変えた局面である。この局面で、ドル円レートの収益率とマネタリーベース比率のConditional Covarianceが大きく変動したということは、為替レートのボラティリティと2国のマネタリーベース比率のボラティリティの相関が高まっていることを意味するが、この2つのボラティリティの相関が高まる局面で、大きな為替レートの変動が生じている。

ここで、2国のマネタリーベース比率のボラティリティの急上昇は、2国のマネタリーベース供給量に突然大きな乖離が生じたことを意味している。これは、とりもなおさず、2国の金

融政策（量的緩和政策）スタンスに大きな乖離が生じたことを意味すると考える。

3. リーマンショック前後のドル円レートの解釈

金融政策への含意として、ドル円レートの状況（特にリーマンショック前後）を確認しよう。図表5の右図をみると、日米のマネタリーベース比率の変動性が急上昇していることがわかる。「マネタリーベース比率の変動性」は正確にいうと、「過去のマネタリーベースの推移から（時系列モデル等で）推計されるマネタリーベースの予測値と実際の値との乖離率」であるため、リーマンショックの局面で、これまでとは全く異なるマネタリーベースの供給が日米の金融政策当局によって行われたことを意味する。その答えは、米国FRBが量的緩和政策（QE1）を採ったということだが、当時、日本では、リーマンショックの経済に与える影響については、一致した意見がなく、そのため、日本は、米、英、中国等が実施した協調緩和に参加しなかった。

マネタリーモデルによる為替レート決定理論の試み

そのため、日本のマネタリーベースの供給スタンスには変化がない一方、米国では、量的緩和政策の実施によって大量のマネタリーベースが供給されることとなり、マネタリーベース比率のボラティリティが急上昇したと考えられる。そして、このマネタリーベース比率の急上昇がその後の円高をもたらした可能性が示唆される。確かに、2006年3月の量的緩和解除によって、日本のマネタリーベース残高は縮小し、その後も伸び率が大幅に鈍化したため、マネタリーベース比率は為替レートを円高方向に誘導する効果をもった。だが、これは、あくまでも「長期均衡値」を緩やかに円高方向に誘導する効果にとどまっていた。だが、リーマンショック直後の金融緩和のタイミングが先進主要国に比べ遅れたことが、円高を短期間で加速させた可能性がある。

V. 最後に

本稿の結論をまとめると以下ようになる。

- (1) 「UIP (カバーなし金利平価説)」は2国の金利差によって為替レート収益率（もしくは変動率）が決定されるという理論だが、現実には、金利差のパラメーターの符号が理論的な帰結とは異なるという問題があった（「UIP パズル」の存在）。ところか、リーマンショック後に先進国がゼロ金利・量的緩和政策を採用して以降、パラメーターが、統計的に有意ではない状況が生じている。すなわち、金利差から為替レート変動の方向性を考えるアプローチは、有効性を失っている。
- (2) 一方、「マネタリーアプローチ」では、為替レート変動は、2国の Monetary Aggregates で決定されるという考えであ

る。これは、金融政策分析における「テイラールール」の普及以降、ほとんど顧みられることはなかった。

- (3) だが、Monetary Aggregates として、2国のマネタリーベースを用いることで、実務上、使われることも多々ありながら、ad hoc なモデルとして批判が多かった「ソロスチャート」を「マネタリーアプローチ」で説明することが可能になる。
- (4) 為替レート、及び、2国のマネタリーベースの比率は、1階差分をとれば、定常過程になり、さらに、両者の間には共和分関係があるため、「ソロスチャート」は定量的には、「VEC (Vector Error Correction) モデル」で表現することが可能である。
- (5) さらに、最近のファイナンスの実証分析で考慮される「Volatility の変動」を VEC モデルに加味することが可能である。これによって、為替レートの水準が大きく変わる局面（いいかえれば、為替レートの Volatility が上昇する局面）では、マネタリーベースの比率の Volatility も上昇し、両者の相関関係が大きく変化することがわかった。

注

- 1) ZIRP は、Zero interest rate policy、QE は、Quantitative easing policy の略である。
- 2) 「ファーマ回帰」の結果のサーベイについては、Engle [1996] を参照のこと。
- 3) 「ファーマ回帰」には、フォワードレートをを用いたバージョンもあるが、ここでは、「カバーなし金利平価説」が妥当するか否かを検証するために、「2国の短期金利差」を用いる。
- 4) データの制約上（為替レートを3ヵ月物短期金利差と対応されるため、対3ヵ月前比増減率にしている）、系列相関が存在すると思われるため、実際の回帰では、誤差に New-West Estimator を適用している。
- 5) マネタリーベースの需要関数は Krugman [1979] の対数表現と同じである。
- 6) これは、Open economy DSGE model における Euler

equationに相当する (Mark [2001] の Ch.3を参照のこと)。

- 7) 「合理的バブル解」が存在しない場合を意味する。
- 8) マネタリーベースの増分は現在のマネタリーベースと1期前のマネタリーベースの差分である。
- 9) 同様のアプローチは、消費者の効用関数にMIU (Money in Utility) を用いた「The Redux model」や、「PTM (Pricing to Market) model」からも導出可能である。詳細は、Obstfeld and Rogoff [2000], Betts and Devereux [2000] を参照のこと。
- 10) だが、これは、(10) 式から、

$$\text{Var}(\Delta s_t) = \frac{(1 - \frac{\rho\gamma}{1+\gamma})^2 + 2\rho \frac{(1-\rho)\gamma}{1+\gamma}}{(1 - \frac{\rho\gamma}{1+\gamma})^2} \text{Var}(\Delta m_t - \Delta m_t^*) > \text{Var}(\Delta m_t - \Delta m_t^*)$$

で、理論的にも成立する。

- 11) Unit root Testの結果については、VECモデルの推定以前の定量分析では極めて基礎的なプロセスであるので、紙面の関係で省略させていただきたい。

参 考 文 献

- Betts, C., & Devereux, M. B. (1996). The exchange rate in a model of pricing-to-market. *European Economic Review*, 40(3), 1007-1021.
- Brunnermeier, Markus K, Stefan Nagel, and Lasse H Pedersen (2008) "Carry Trades And Currency Crashes". Ed. Kenneth Rogoff, Woodford, Michael, & Acemoglu, Daron. Nber Macroeconomics Annual 2008 23 : 313-347. Print.
- Engel, C. (1996). "The forward discount anomaly and the risk premium: A survey of recent evidence". *Journal of empirical finance*, 3(2), 123-192.
- Fama, E. F. (1984). "Forward and spot exchange rates". *Journal of Monetary Economics*, 14(3), 319-338.
- Fukuta, Y., & Saito, M. (2002). "Forward discount puzzle and liquidity effects: Some evidence from exchange rates among the United States, Canada, and Japan". *Journal of Money, Credit and Banking*, 1014-1033.
- Hamilton, J. D. (1994). *Time series analysis*. Princeton university press.
- Hayashi, Fumio (2000) *Econometrics*. Princeton university press
- Krugman, P. (1979). A model of balance-of-payments crises. *Journal of money, credit and banking*, 11(3), 311-325.
- Maekawa, K., & Setiawan, (2014) . K. ESTIMATION OF VECTOR ERROR CORRECTION MODEL WITH GARCH ERRORS: MONTE CARLO SIMULATION AND APPLICATIONS.
- Mark, N. C. (2001). *International Macroeconomics and Finance: Theory and Empirical Methods*. Blackwell.
- Obstfeld, M., & Rogoff, K. (2000). New directions for stochastic open economy models. *Journal of international economics*, 50(1), 117-153.

(丸三証券(株)調査部経済調査部長)