

論 文

イールド・カーブのリスク・ヘッジの ための主成分分析

——豪ドル (AUD), スイスフラン (CHF), ユーロ (EUR),
英ポンド (GBP), 円 (JPY), 米ドル (USD) 金利ス
ワップ市場での変動比較——

高 橋 豊 治

目 次

- I. はじめに
- II. 何のための主成分分析か
- III. 市場ごとのイールド・カーブ変動
 1. 豪ドル金利スワップ市場 (AUD)
 2. スイスフラン金利スワップ市場 (CHF)
 3. ユーロ金利スワップ市場 (EUR)
 4. 英ポンド金利スワップ市場 (GBP)
 5. 円金利スワップ市場 (JPY)
 6. 米ドル金利スワップ市場 (USD)
 7. 各金利スワップ市場のまとめ

I. はじめに

本稿は、イールド・カーブ変動に対するリスク・ヘッジのため、豪ドル (AUD), スイスフラン (CHF), ユーロ (EUR), 英ポンド (GBP), 円 (JPY), 米ドル (USD) の各通貨の金利スワップ市場におけるスポット・レートを

推計し¹⁾、日次のスポット・レート変化（変化幅）に対して主成分分析の手法を活用することで、もともになる変動要因を集約する試みである。6つの通貨の金利スワップ市場での金利変動の特徴を明らかにすることを目的としている²⁾。

主成分分析を用いてイールド・カーブの動きを測定する試みは、先行研究では、第1主成分がイールド・カーブの水準の変動要因、第2主成分が傾きの変動要因、第3主成分がイールド・カーブの形状への影響要因と解釈されることが多く、こうしたイールド・カーブに影響を与える（マクロ経済などの）もともになる要因を探る試みや、3つの変動要因をもとにイールド・カーブの動きをモデル化するための試みが多くなされている。

一方で、こうしたイールド・カーブの動きをモデル化するための試みとは別に、イールド・カーブ変動に対するリスク・ヘッジのためイールド・カーブの動きを測定する試みもなされている。こうした目的でのイールド・カーブの動きの測定では、各種成分が何を示しているかという解釈は、同じイールド・カーブに影響を受けるものをヘッジ・ツールとして利用するため、極論すれば重要ではない。また、そこで対象とするイールド・カーブは、厳密には、（金利スワップであれば）各種スワップ取引における満期までの年数とスワップ金利の関係を示すものではなく、スワップ市場参加者が想定するキャッシュフローの時間価値を反映した、現在価値割引係数と関連付けられるスポット・レートでなければならない³⁾。

-
- 1) イールド・カーブ構築にあたっては、これまでと同様、スワップ金利の線形補間による bootstrap 法により推計している。具体的な手法については、高橋（2017a）を参照のこと。
 - 2) 高橋（2019a）などで取り扱った主要な通貨4種類に加え、ユーロ（EUR）および豪ドル（AUD）を追加して取り上げた。
 - 3) この点は、金利スワップ市場より国債流通市場の方が、いわゆる「イールド・カーブ・コントロール政策」という呼び方の影響を受けてか、イールド

本稿では、これまでの研究成果を整理するとともに、最新の情報に更新することで直近のイールド・カーブの動きを含めた特徴も明らかにする。

以下では、まずⅡ節において先行研究とも対比させながら、イールド・カーブの動きを測定する目的を簡単に整理する。ついでⅢ節において計測対象通貨と期間を拡張し、豪ドル (AUD)、スイスフラン (CHF)、ユーロ (EUR)、英ポンド (GBP)、円 (JPY)、米ドル (USD) という6種類の通貨に関する金利スワップ市場についてイールド・カーブ変動状況を確認したのち、日次のスポット・レート変化(変化幅)についての主成分分析を行い、イールド・カーブの変動に対して通貨ごとに主成分の説明力を比較する。

Ⅱ. 何のための主成分分析か

主成分分析を用いた金利変動分析に関する研究には、主としてリスクの把握とヘッジ目的の分析のものと、主として金利変動要因を分析する目的のものに分類できる。主としてリスクの把握とヘッジ目的の代表的研究としては、Litterman and Scheinkman (1991), Falkenstein and Hanweck (1997), Soto (2004), Abad and Benito (2007)などを挙げることができる。Litterman and Scheinkman (1991) はリスク・ヘッジ手法に主成分分析を適用する最初の試みのひとつである。Falkenstein and Hanweck (1997) は債券リスク・ヘッジリオのヘッジ, Soto (2004) は immunization 戦略の手法として単一リスク・ファクターのデュレーションとの比較, Abad and Benito (2007) は value at risk の推計での活用で、それぞれ主成分分析の実際の利用にあたって有効性の判断材料として主成分分析を利用するとともにその結果を評価するものである。これに対して、主として金利変動要因を分析する目的のものには、Reisman and Zohar (2004), Patel,

ド・カーブが何を対象とするか混乱があるように感じられる。

Mohamed & van Vuuren (2018) などがある。Reisman and Zohar (2004) は金利変動要因を分析するとともに金利予測への活用を試みている。Patel, Mohamed & van Vuuren (2018) は米国と南アフリカの金利変動について主要な変動要因を探る試みである。

日本における代表的な研究は、米澤・鈴木 (1997)、太田 (2004)、山岸・本廣 (2010)、高橋他 (2010)、秋森 (2012) (2013) (2018)、高橋 (2008) (2014) (2018a) (2018b) (2019a) (2019b) (2019c) などがある。先の分類に従えば、このうち、太田 (2004)、高橋 (2018a) (2018b) (2019a) (2019b) (2019c) が主としてリスクの把握とヘッジ目的の評価を行うものであり、米澤・鈴木 (1997)、草場 (2010)、山岸・本廣 (2010)、高橋他 (2010)、秋森 (2012) (2013) (2018) が主として金利変動要因を分析するものであると言えよう。米澤・鈴木 (1997) は1987年1月から1994年12月、山岸・本廣 (2010) は1996年1月から2010年1月の月次データによる日本国債市場のイールド・カーブ変動要因を分析している。これに対して高橋他 (2010) は2000年5月24日から2009年12月30日までのBB国債価格の日次による分析である。草場 (2010) は国債スポットレートカーブの構造把握とマクロ経済変数に基づく予測可能性を検討している。

太田 (2004) は、Soto (2004) と同様 immunization 戦略の一環として、修正デュレーションの限界と（主成分分析の結果と実際のスポット・レートをベースにした）主成分デュレーションの活用のメリットを提案している。もちろん両者の分類は相対的なものであるが、各論文の意図を考える際に参考になるであろう。

リスクの把握とヘッジ目的の利用は次のように整理することができる。

t 時点の金利スワップポジションの価値 $P(t)$ は、その時点のポジションからのキャッシュフロー $C_j(t)$ ($j=1, 2, \dots, n-1, n$) を⁴⁾、その時点のキャッシュフローが発生するスポット応答日からの年数 $\tau_j(t)$ に対応するスポ

ット・レート $r_j(t)$ で現在価値に割り引いて算出する⁵⁾。

$$P(t) = \sum_{j=1}^n C_j(t) \cdot e^{-r_j(t) \cdot \tau_j(t)}$$

イールド・カーブの変動によりこのスワップポジションの価値が変動するので、その大きさ（リスク量）は

$$dP(t) = \sum_{j=1}^n \frac{\partial P(t)}{\partial r_j(t)} dr_j(t)$$

として測定することができる。ここで、イールド・カーブの動きが平行シフトならば、 $dr_j(t)$ がすべての $j=1, 2, \dots, n-1, n$ について等しいので、例えば $dR(t)$ と置けば、有効デュレーション（effective duration）として知られている

$$\frac{dP(t)}{dR(t)} = \sum_{j=1}^n \frac{\partial P(t)}{\partial r_j(t)}$$

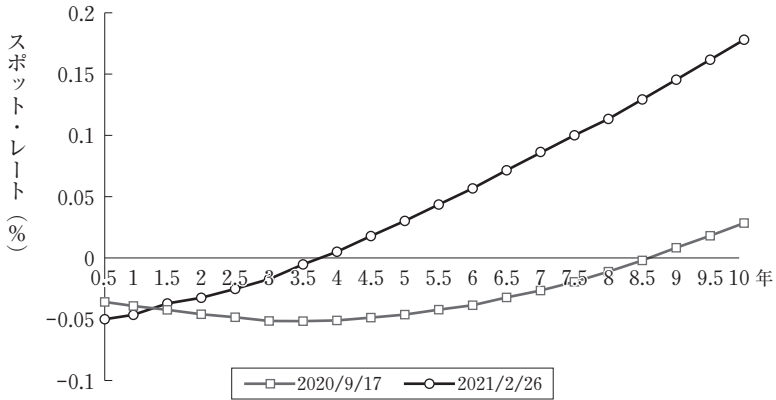
という指標でリスク量を表すことができる。

図1は、イールド・カーブの動きをみるための一例として、円金利スワップ市場のイールド・カーブの変化を示したものである。ここでは動きをわかりやすくするために、2020年9月17日から6か月後の2021年3月17日の動きを描いている。6か月という期間はイールド・カーブの動きを見るにあたって長いとはいえ、イールド・カーブの平行シフトを繰り返すだけではこのような形状の変化になることはない。もちろん経済環境によっては、イールド・カーブが平行にシフトすると考えてよい場合もあるかもしれないが、実際には、イールド・カーブは平行にシフトするだけではないので、有効デュレーションだけではリスク・ヘッジとして不十分である

4) 固定金利の利払でも日数の違いにより金額が異なるため添え字 j をつけている。

5) ここでのスポット・レートは連続複利表示としている。

図1 スポット・イールド・カーブの動き (JPY)



う。

一方で、それぞれの期のスポット・レートが、全くランダムに動くということも考えにくい。図1のケースであれば、傾きがきつくなるような規則性をみることができよう。このように実際には、イールド・カーブは、スポット・レートが全くランダムに動くわけでもなく、平行シフトだけでもないが、ある程度の規則性を持って変動していると考えることができる。そこで、実際の変動がどのような規則性を持っているかを知ることは重要であり、スポット・レートが全くランダムに動いているのであれば、いわゆるイミュニゼーションと呼ばれるリスク・ヘッジ戦略を考える場合、ポジション評価に必要なスポット・レートの数だけで、ヘッジ・ツールが必要となる。イールド・カーブが平行シフトしているのであれば、ヘッジ・ツールは1種類でよいが、そうでなくても、いくつかの規則性を持った変動で動きを表すことができるのであれば、ヘッジ・ツールも減らすことができる。

このような考え方から、スポット・レートの変動 $dr_j(t)$ を測定する、い

わばヘッジ・ツールの集約化のため、イールド・カーブの動きを計測する取り組みがなされてきた。本稿ではこの立場から、 $dr_j(t)$ の近似として、 t 時点の j 期のスポット・レート $r_j(t)$ の $t-1$ 時点からの変化幅 $\Delta r_j(t) = r_j(t) - r_j(t-1)$ を利用して主成分分析によりスポット・レートの変動を測定する。

ヘッジ・ツールの集約化のため、リスク・ファクターとしての金利変動の確率分布として正規分布を視野に入れて、 t 時点の j 期スポット・レート $r_j(t)$ の変化率 $x(t) = \frac{\Delta r_j(t)}{r_j(t)}$ をリスク・ファクターとして想定している場合 $x(t)$ に対する主成分分析を行うことでイールド・カーブの変動要因の比較を試みる事が多く行われている。しかしながら、高橋(2019b)、(2019c)などで確認した通り、世界金融危機（いわゆる「リーマン・ショック」）以降のJPYおよびCHFの金利スワップ市場に関しては、スポット・レートの変化率の相関係数による主成分分析では、説明力が非常に低いことがわかっている。そこで、今回はスポット・レートの変化幅 $\Delta r_j(t) = r_j(t) - r_j(t-1)$ をリスク・ファクターとした主成分分析を試みた。

j 期のスポット・レート変化幅 $\Delta r_j(t)$ について、第1主成分から第 n 主成分 $(F_1, F_2, \dots, F_{n-1}, F_n)$ の影響を求める。具体的には、スポット・レートの変化幅 $\Delta r_j(t)$ の相関係数をもとに、各種成分の固有値 λ_k を求め、主成分ごとの寄与率からイールド・カーブの動きのどの程度を説明できているかを明らかにする。さらに、固有ベクトルとともに主成分負荷量 $a_{j,k} = \sqrt{\lambda_k} \cdot w_{j,k}$ を求める。最終的には累積寄与率をもとに主成分を絞り込み

$$\Delta r_j(t) = \sum_{k=1}^n a_{j,k} \cdot F_k + e_j$$

についてリスク・ヘッジに活用することになる。

Ⅲ. 市場ごとのイールド・カーブ変動

計測全期間を対象にイールド・カーブの変動がどのような状況であったのかを確認することにしよう。豪ドル (AUD), スイスフラン (CHF), ユーロ (EUR), 英ポンド (GBP), 円 (JPY), 米ドル (USD) の6種類の通貨について金利スワップ市場に関して, イールド・カーブを計測し, 変動状況を明らかにする。

まずは, 市場ごとにイールド・カーブを構築し, スポット・レートの変動状況を明らかにする。次いで, 0.5年から10年までの0.5年刻みのスポット・レートの変化幅について相関係数を求めた後, 相関係数の固有値, 固有ベクトルを算出する。固有値をもとに各主成分の寄与率 (それぞれの主成分が全体のイールド・カーブ変動のうち, どの程度の変動を説明できているか), および寄与率の集計である累積寄与率を明らかにすることで, イールド・カーブの動きをどの程度の編集の動きに集約することができるかを検証する。市場や時期によってイールド・カーブの動きをどの程度集約できるかは異なるが, 集約した主成分のもとのスポット・レートに与える影響の違いを成分パターン・プロファイルとしてグラフ化する。成分パターン・プロファイルでは, 主成分のスポット・レートに与える影響の違いを, 横軸にスポット・レート (の変化幅), 縦軸に相関係数をとることで, 集約された成分ごとにスポット・レートの変化にどのようにかかわっているかをみることができる。今回の分析では市場ごとの分析期間を統一することはせず, それぞれの市場で分析データが利用できる期間を対象とした⁶⁾。分析は日次データにより行い, データはすべて Bloomberg のものである。

6) それぞれの市場の分析開始日は, AUD : 1989年5月3日, CHF : 1990年11月16日, EUR : 1999年1月19日, GBP : 1990年11月16日, JPY : 1989年11月1日, USD : 1988年11月1日で, いずれも2021年7月8日までの期間である。

1. 豪ドル金利スワップ市場（AUD）

図2は、豪ドル（オーストラリア・ドル、以下AUDと略称する）の金利スワップ市場におけるイールド・カーブの計測結果から、2年（z2YR）、5年（z5YR）、10年（z10YR）という3種類のスポット・レートの推移を時系列的に示したものである。

表1は、AUD金利スワップ市場のスワップ金利から推計した0.5年から10年までの0.5年刻みのスポット・レートの日次変化幅について、相関係数を示したものである。表1の相関係数をみると、0.5年スポット・レートと他の年限のスポット・レート変化幅との相関係数は低いものの（例えば、1年と1.5年は0.907、1.5年と2年は0.938であるのに対して0.5年と1年は0.418）、全体的に、隣り合わせの年限のスポット・レートとの相関係数が

図2 スポット・レートの推移（AUD）全期間

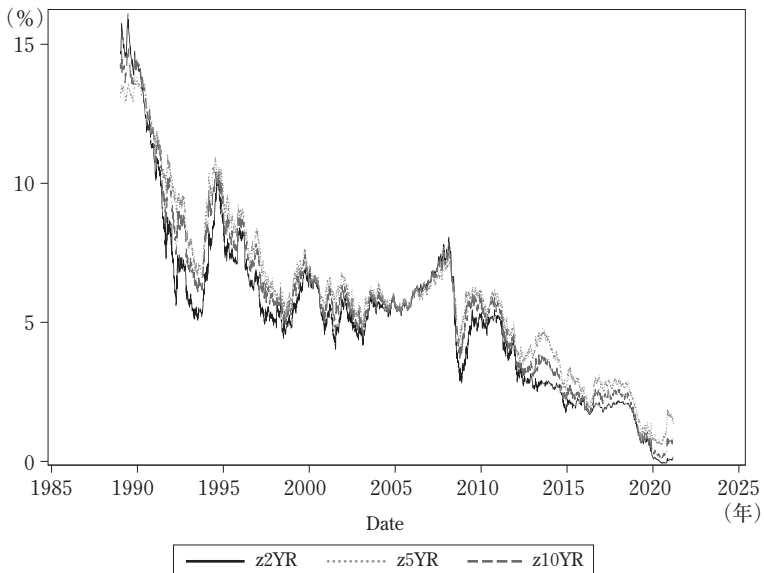


表1 スポット・レートの変化幅の相関係数 (AUD) 全期間

	0.5年	1.0年	1.5年	2.0年	2.5年	3.0年	3.5年	4.0年	4.5年	5.0年	5.5年	6.0年	6.5年	7.0年	7.5年	8.0年	8.5年	9.0年	9.5年	10.0年
0.5年	1	0.418	0.371	0.279	0.297	0.260	0.250	0.192	0.193	0.183	0.194	0.192	0.177	0.151	0.157	0.155	0.154	0.143	0.140	0.122
1.0年	0.418	1	0.907	0.706	0.748	0.653	0.652	0.524	0.541	0.530	0.523	0.478	0.461	0.412	0.409	0.385	0.385	0.362	0.380	0.356
1.5年	0.371	0.907	1	0.938	0.904	0.707	0.744	0.635	0.661	0.653	0.650	0.602	0.592	0.540	0.539	0.510	0.506	0.473	0.504	0.480
2.0年	0.279	0.706	0.938	1	0.907	0.654	0.716	0.639	0.669	0.664	0.665	0.621	0.617	0.571	0.571	0.542	0.536	0.499	0.536	0.516
2.5年	0.297	0.748	0.904	0.907	1	0.911	0.891	0.698	0.725	0.714	0.709	0.654	0.639	0.580	0.578	0.548	0.538	0.497	0.543	0.532
3.0年	0.260	0.653	0.707	0.654	0.911	1	0.902	0.631	0.650	0.635	0.624	0.569	0.545	0.484	0.482	0.455	0.443	0.406	0.452	0.452
3.5年	0.250	0.652	0.744	0.716	0.891	0.902	1	0.904	0.901	0.850	0.836	0.764	0.757	0.697	0.692	0.652	0.636	0.585	0.653	0.653
4.0年	0.192	0.524	0.635	0.639	0.698	0.631	0.904	1	0.976	0.899	0.885	0.810	0.820	0.773	0.767	0.721	0.705	0.650	0.726	0.727
4.5年	0.193	0.541	0.661	0.669	0.725	0.650	0.901	0.976	1	0.973	0.949	0.859	0.866	0.812	0.810	0.767	0.749	0.690	0.769	0.770
5.0年	0.183	0.530	0.653	0.664	0.714	0.635	0.850	0.899	0.973	1	0.966	0.866	0.869	0.811	0.813	0.775	0.756	0.695	0.775	0.775
5.5年	0.194	0.523	0.650	0.665	0.709	0.624	0.836	0.885	0.949	0.966	1	0.966	0.948	0.866	0.884	0.857	0.837	0.770	0.839	0.820
6.0年	0.192	0.478	0.602	0.621	0.654	0.569	0.764	0.810	0.859	0.866	0.966	1	0.964	0.863	0.894	0.882	0.861	0.793	0.846	0.809
6.5年	0.177	0.461	0.592	0.617	0.639	0.545	0.757	0.820	0.866	0.869	0.948	0.964	1	0.966	0.969	0.924	0.904	0.834	0.914	0.898
7.0年	0.151	0.412	0.540	0.571	0.580	0.484	0.697	0.773	0.812	0.811	0.866	0.863	0.966	1	0.975	0.902	0.884	0.817	0.916	0.921
7.5年	0.157	0.409	0.539	0.571	0.578	0.482	0.692	0.767	0.810	0.813	0.884	0.894	0.969	0.975	1	0.975	0.946	0.865	0.949	0.934
8.0年	0.155	0.385	0.510	0.542	0.548	0.455	0.652	0.721	0.767	0.775	0.857	0.882	0.924	0.902	0.975	1	0.961	0.870	0.934	0.900
8.5年	0.154	0.385	0.506	0.536	0.538	0.443	0.636	0.705	0.749	0.756	0.837	0.861	0.904	0.884	0.946	0.961	1	0.973	0.976	0.860
9.0年	0.143	0.362	0.473	0.499	0.497	0.406	0.585	0.650	0.690	0.695	0.770	0.793	0.834	0.817	0.865	0.870	0.973	1	0.952	0.776
9.5年	0.140	0.380	0.504	0.536	0.543	0.452	0.653	0.726	0.769	0.775	0.839	0.846	0.914	0.916	0.949	0.934	0.976	0.952	1	0.932
10.0年	0.122	0.356	0.480	0.516	0.532	0.452	0.653	0.727	0.770	0.775	0.820	0.809	0.898	0.921	0.934	0.900	0.860	0.776	0.932	1

高く、年限が離れるほど相関係数が小さくなる傾向がはっきりと読み取れる。

表2は表1の相関係数をもとに主成分ごとの固有値を求め、その説明力を示したものである。今回のイールド・カーブに関する主成分分析では、0.5年刻みで10年までのスポット・レートの動き（変動幅）を対象としているので、主成分として20種類が考えられる。固有値の大きい順に第1主成分から第20主成分として、2列目には、説明力がどのくらい違うかの参考のひとつとして、次の主成分の固有値との差を示している。3列目は主成分ごとの固有値の差であり、主成分の説明力の違いをみることができる。4列目の寄与率は、20種類の主成分の固有値合計（全体としての変動幅の大きさ）に対して、それぞれの主成分の固有値（当該主成分の変動幅の大きさ）を示している。最後の5列目にある累積寄与率は、そこまでの主成分の寄与率の合計を示したもので、それまでの主成分で、スポット・レート変動幅のどの程度を説明できているかを示すものである。

表2に示されているように、AUDの場合は、第10主成分までの累積寄与率がほぼ100%で、20種類のスポット・レートの変動を10種類の主成分の動きに集約することができる。つまり20種類のスポット・レートの変動に対して、半分の動きをみるだけでよいことになる（細かくみれば第11主成分の固有値もプラスなので第11主成分までとした方がより正確かもしれないが、ちょうど半分で説明できると表現するため、第10主成分までで100%というところを強調した。)。さらに、20種類のスポット・レートの変動を100%説明できることにこだわらなければ、第1主成分の説明力が71%、第2主成分までの累積寄与率が84%、第3主成分までの累積寄与率が89%と、先行研究が強調する3つの主成分で、イールド・カーブの変動パターンのかかなりの部分を説明できていると考えられる。ただし、AUDの第3主成分までの累積寄与率の数値は、後述する他の金利スワップ市場での主成分の説明力に比

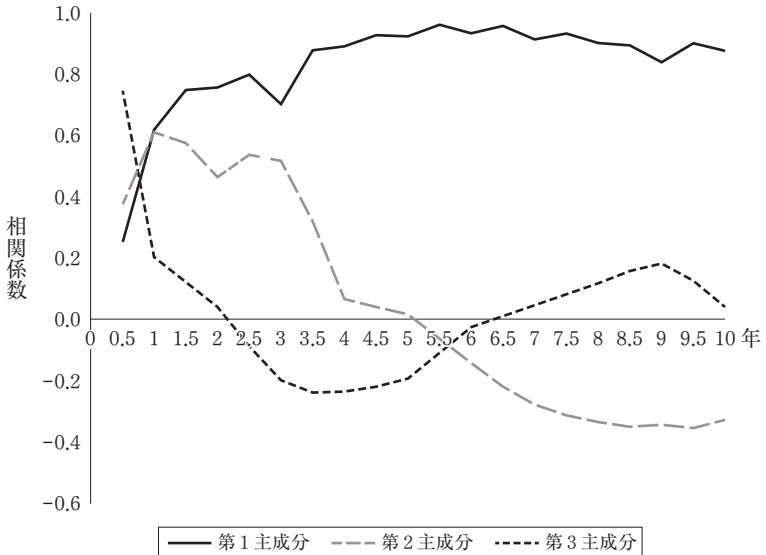
表2 相関係数の固有値, 寄与率, 累積寄与率 (AUD) 全期間

主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	14.25	11.71	71%	71%
2	2.55	1.58	13%	84%
3	0.97	0.27	5%	89%
4	0.70	0.25	3%	92%
5	0.45	0.15	2%	95%
6	0.30	0.02	2%	96%
7	0.28	0.05	1%	97%
8	0.22	0.11	1%	99%
9	0.12	0.02	1%	99%
10	0.10	0.02	0%	100%
11	0.07	0.07	0%	100%
12	0.00	0.00	0%	100%
13	0.00	0.00	0%	100%
14	0.00	0.00	0%	100%
15	0.00	0.00	0%	100%
16	0.00	0.00	0%	100%
17	0.00	0.00	0%	100%
18	0.00	0.00	0%	100%
19	0.00	0.00	0%	100%
20	0.00		0%	100%

べると小さいことには注意が必要であろう。

図3でスポット・レートの変化幅に対する主成分負荷量をみると、全体の変動の71%を占める第1主成分が（1年の主成分負荷量は0.61と少し小さいが、）イールド・カーブの各年限にほぼ等しい影響を与えていることからイールド・カーブの水準への影響要因と考えられる。寄与率13%の第2主成分は5年以下の年限ではプラス、5年以上の年限ではマイナスの影響を4～5年より離れるにしたがって大きく与えていることから、傾きに影響

図3 スポット・レートに対する主成分負荷量（AUD）全期間



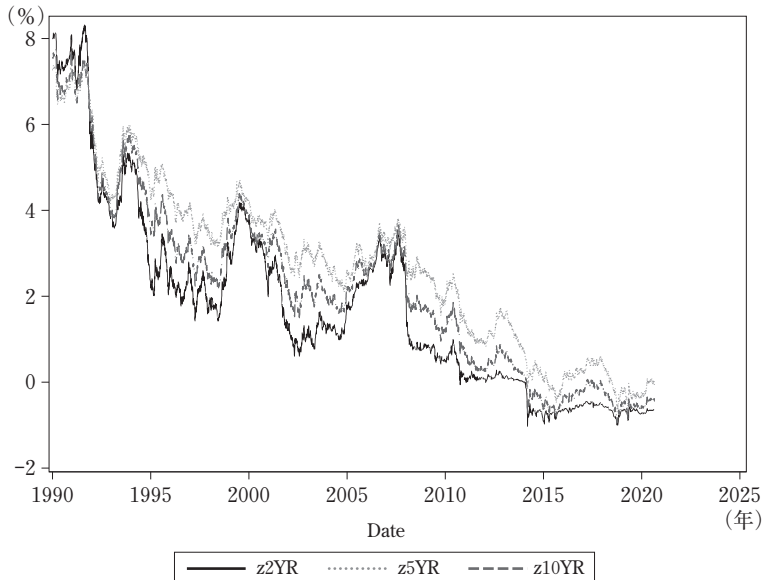
を与える変動要因と考えられる。そして寄与率2%の第3主成分は3.5年を底にするU字型となっていてイールド・カーブのシェイプ（曲率）を変える要因と考えることができる。

2. スイスフラン金利スワップ市場（CHF）

図4は、スイスフラン（CHF）の金利スワップ市場におけるイールド・カーブの計測結果から、他の市場同様に、2年（z2YR）、5年（z5YR）、10年（z10YR）の3種類のスポット・レート推移を時系列的に示したものである。

表3はCHF金利スワップ市場のスワップ金利から推計した0.5年から10年までの0.5年刻みのスポット・レートの日次変化幅について、相関係数を示したものである。表3の相関係数をみると、豪ドル金利スワップ市場

図4 スポット・レートの推移 (CHF) 全期間



と同様、0.5年スポット・レートと他の年限のスポット・レートとの相関係数は全体的に低いが、隣り合わせの年限のスポット・レートとの相関係数が高く、年限が離れるほど相関係数が小さくなる傾向がはっきりと読み取れる。

表4はCHFスポット・レート変化幅の相関係数をもとに主成分ごとの固有値を求め、その説明力を示したものである。ここでは紙幅の関係もあり、ほとんどの先行研究で採用されている第3主成分までの情報を示すことにした。表4に示されているように、CHF金利スワップ市場では、第1主成分の説明力が82%、第2主成分までの累積寄与率が93%、第3主成分までの累積寄与率が97%と3つの主成分でイールド・カーブの変動パターンのほぼすべてを説明できていると考えられる。

表3 スポット・レートの変化幅の相関係数 (CHF) 全期間

	0.5年	1.0年	1.5年	2.0年	2.5年	3.0年	3.5年	4.0年	4.5年	5.0年	5.5年	6.0年	6.5年	7.0年	7.5年	8.0年	8.5年	9.0年	9.5年	10.0年
0.5年	1	0.931	0.691	0.389	0.380	0.358	0.351	0.333	0.321	0.300	0.287	0.266	0.254	0.235	0.227	0.213	0.215	0.210	0.206	0.197
1.0年	0.931	1	0.907	0.698	0.685	0.650	0.640	0.611	0.598	0.568	0.554	0.527	0.512	0.485	0.476	0.454	0.458	0.449	0.444	0.427
1.5年	0.691	0.907	1	0.935	0.920	0.875	0.864	0.826	0.814	0.779	0.768	0.736	0.722	0.690	0.681	0.654	0.661	0.648	0.642	0.620
2.0年	0.389	0.698	0.935	1	0.985	0.939	0.928	0.889	0.880	0.845	0.837	0.807	0.795	0.764	0.756	0.728	0.736	0.722	0.717	0.693
2.5年	0.380	0.685	0.920	0.985	1	0.984	0.971	0.929	0.922	0.887	0.881	0.851	0.840	0.809	0.802	0.773	0.782	0.768	0.763	0.739
3.0年	0.358	0.650	0.875	0.939	0.984	1	0.986	0.942	0.936	0.903	0.898	0.870	0.860	0.830	0.824	0.795	0.805	0.791	0.787	0.764
3.5年	0.351	0.640	0.864	0.928	0.971	0.986	1	0.985	0.975	0.937	0.933	0.906	0.897	0.868	0.864	0.836	0.846	0.831	0.829	0.806
4.0年	0.333	0.611	0.826	0.889	0.929	0.942	0.985	1	0.986	0.943	0.941	0.915	0.909	0.881	0.879	0.852	0.862	0.847	0.847	0.826
4.5年	0.321	0.598	0.814	0.880	0.922	0.936	0.975	0.986	1	0.986	0.978	0.946	0.937	0.906	0.905	0.880	0.891	0.876	0.876	0.855
5.0年	0.300	0.568	0.779	0.845	0.887	0.903	0.937	0.943	0.986	1	0.987	0.949	0.938	0.905	0.906	0.882	0.894	0.880	0.880	0.859
5.5年	0.287	0.554	0.768	0.837	0.881	0.898	0.933	0.941	0.978	0.987	1	0.987	0.976	0.941	0.945	0.922	0.932	0.915	0.913	0.888
6.0年	0.266	0.527	0.736	0.807	0.851	0.870	0.906	0.915	0.946	0.949	0.987	1	0.989	0.954	0.960	0.939	0.947	0.926	0.921	0.894
6.5年	0.254	0.512	0.722	0.795	0.840	0.860	0.897	0.909	0.937	0.938	0.976	0.989	1	0.988	0.984	0.954	0.968	0.954	0.947	0.918
7.0年	0.235	0.485	0.690	0.764	0.809	0.830	0.868	0.881	0.906	0.905	0.941	0.954	0.988	1	0.986	0.946	0.967	0.959	0.952	0.921
7.5年	0.227	0.476	0.681	0.756	0.802	0.824	0.864	0.879	0.905	0.906	0.945	0.960	0.984	0.986	1	0.987	0.990	0.963	0.967	0.947
8.0年	0.213	0.454	0.654	0.728	0.773	0.795	0.836	0.852	0.880	0.882	0.922	0.939	0.954	0.946	0.987	1	0.985	0.941	0.956	0.948
8.5年	0.215	0.458	0.661	0.736	0.782	0.805	0.846	0.862	0.891	0.894	0.932	0.947	0.968	0.967	0.990	0.985	1	0.985	0.986	0.964
9.0年	0.210	0.449	0.648	0.722	0.768	0.791	0.831	0.847	0.876	0.880	0.915	0.926	0.954	0.959	0.963	0.941	0.985	1	0.988	0.951
9.5年	0.206	0.444	0.642	0.717	0.763	0.787	0.829	0.847	0.876	0.880	0.913	0.921	0.947	0.952	0.967	0.956	0.986	0.988	1	0.988
10.0年	0.197	0.427	0.620	0.693	0.739	0.764	0.806	0.826	0.855	0.859	0.888	0.894	0.918	0.921	0.947	0.948	0.964	0.951	0.988	1

表4 相関係数の固有値, 寄与率, 累積寄与率 (CHF) 全期間

主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	16.50		82%	82%
2	2.10	14.40	11%	93%
3	0.79	1.31	4%	97%

図5 スポット・レートに対する主成分負荷量 (CHF) 全期間

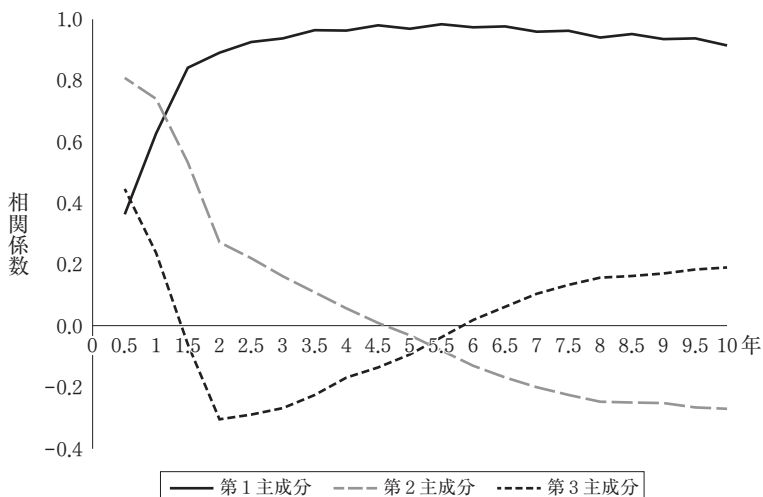


図5でスポット・レートの変化幅に対する主成分負荷量をみると、全体の変動の82%を占める第1主成分が(0.5年, 1年の主成分負荷量は少し小さいが,) イールド・カーブの各年限にはほぼ等しい影響を与えていることからイールド・カーブの水準への影響要因と読み取ることができる。寄与率11%の第2主成分は5年以下の年限ではプラス, 5年以上の年限ではマイナスの影響を5年より離れるにしたがって大きく与えていることから, 5年を中心に回転させるような形で, イールド・カーブの傾きに影響を与える変動要因と考えられる。そして寄与率4%の第3主成分は2年を底にす

るV字型となっていてイールド・カーブのシェイプ（曲率）を変える要因と考えることができる。

3. ユーロ金利スワップ市場（EUR）

図6は、ユーロ（EUR）の金利スワップ市場でのスポット・レートの推移を、2年（z2YR）、5年（z5YR）、10年（z10YR）の5種類のスポット・レートについて示している。2008年を境に短期金利が大幅に低下し長短金利の差が拡大している（イールド・カーブの傾きが急になっている。）。

表5は、EUR金利スワップ市場のスワップ金利から推計した0.5年から10年までの0.5年刻みのスポット・レートの日次変化幅について、相関係数を示したものである。表5の相関係数をみると、他の金利スワップ市場

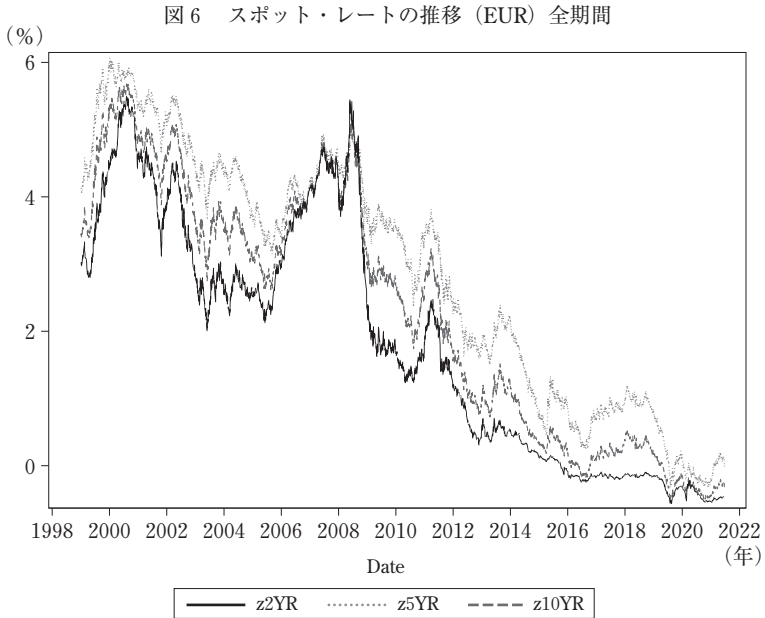


表5 スポット・レートの変化幅の相関係数 (EUR) 全期間

	0.5年	1.0年	1.5年	2.0年	2.5年	3.0年	3.5年	4.0年	4.5年	5.0年	5.5年	6.0年	6.5年	7.0年	7.5年	8.0年	8.5年	9.0年	9.5年	10.0年
0.5年	1	0.659	0.618	0.563	0.538	0.508	0.490	0.468	0.451	0.432	0.416	0.399	0.382	0.364	0.347	0.329	0.314	0.298	0.287	0.275
1.0年	0.659	1	0.974	0.919	0.898	0.868	0.844	0.813	0.789	0.762	0.742	0.720	0.699	0.675	0.653	0.629	0.609	0.588	0.572	0.555
1.5年	0.618	0.974	1	0.984	0.971	0.948	0.929	0.902	0.881	0.855	0.836	0.814	0.793	0.768	0.745	0.720	0.700	0.678	0.661	0.643
2.0年	0.563	0.919	0.984	1	0.994	0.977	0.962	0.939	0.920	0.897	0.879	0.858	0.838	0.813	0.791	0.766	0.745	0.723	0.706	0.689
2.5年	0.538	0.898	0.971	0.994	1	0.994	0.985	0.969	0.953	0.934	0.918	0.900	0.881	0.859	0.838	0.814	0.795	0.773	0.757	0.740
3.0年	0.508	0.868	0.948	0.977	0.994	1	0.996	0.985	0.973	0.958	0.945	0.928	0.912	0.892	0.872	0.850	0.832	0.812	0.796	0.779
3.5年	0.490	0.844	0.929	0.962	0.985	0.996	1	0.996	0.989	0.978	0.968	0.955	0.940	0.921	0.904	0.884	0.867	0.848	0.833	0.817
4.0年	0.468	0.813	0.902	0.939	0.969	0.985	0.996	1	0.998	0.992	0.984	0.974	0.961	0.944	0.929	0.911	0.895	0.878	0.864	0.849
4.5年	0.451	0.789	0.881	0.920	0.953	0.973	0.989	0.998	1	0.998	0.994	0.986	0.976	0.961	0.947	0.931	0.917	0.901	0.889	0.875
5.0年	0.432	0.762	0.855	0.897	0.934	0.958	0.978	0.992	0.998	1	0.998	0.994	0.986	0.973	0.962	0.948	0.935	0.921	0.910	0.897
5.5年	0.416	0.742	0.836	0.879	0.918	0.945	0.968	0.984	0.994	0.998	1	0.998	0.993	0.984	0.975	0.963	0.953	0.940	0.930	0.919
6.0年	0.399	0.720	0.814	0.858	0.900	0.928	0.955	0.974	0.986	0.994	0.998	1	0.998	0.991	0.985	0.976	0.967	0.957	0.948	0.939
6.5年	0.382	0.699	0.793	0.838	0.881	0.912	0.940	0.961	0.976	0.986	0.993	0.998	1	0.998	0.994	0.987	0.981	0.972	0.965	0.957
7.0年	0.364	0.675	0.768	0.813	0.859	0.892	0.921	0.944	0.961	0.973	0.984	0.991	0.998	1	0.999	0.995	0.990	0.984	0.979	0.972
7.5年	0.347	0.653	0.745	0.791	0.838	0.872	0.904	0.929	0.947	0.962	0.975	0.985	0.994	0.999	1	0.999	0.996	0.991	0.987	0.982
8.0年	0.329	0.629	0.720	0.766	0.814	0.850	0.884	0.911	0.931	0.948	0.963	0.976	0.987	0.995	0.999	1	0.999	0.996	0.994	0.990
8.5年	0.314	0.609	0.700	0.745	0.795	0.832	0.867	0.895	0.917	0.935	0.953	0.967	0.981	0.990	0.996	0.999	1	0.999	0.997	0.994
9.0年	0.298	0.588	0.678	0.723	0.773	0.812	0.848	0.878	0.901	0.921	0.940	0.957	0.972	0.984	0.991	0.996	0.999	1	0.999	0.997
9.5年	0.287	0.572	0.661	0.706	0.757	0.796	0.833	0.864	0.889	0.910	0.930	0.948	0.965	0.979	0.987	0.994	0.997	0.999	1	0.999
10.0年	0.275	0.555	0.643	0.689	0.740	0.779	0.817	0.849	0.875	0.897	0.919	0.939	0.957	0.972	0.982	0.990	0.994	0.997	0.999	1

と同様の傾向が読み取れる。すなわち、0.5年スポット・レートの他の年限との相関係数が若干低い傾向があるが、全体的に、隣り合わせの年限のスポット・レートとの相関係数が高く、年限が離れるほど相関係数が小さくなる傾向がはっきりと読み取れる。

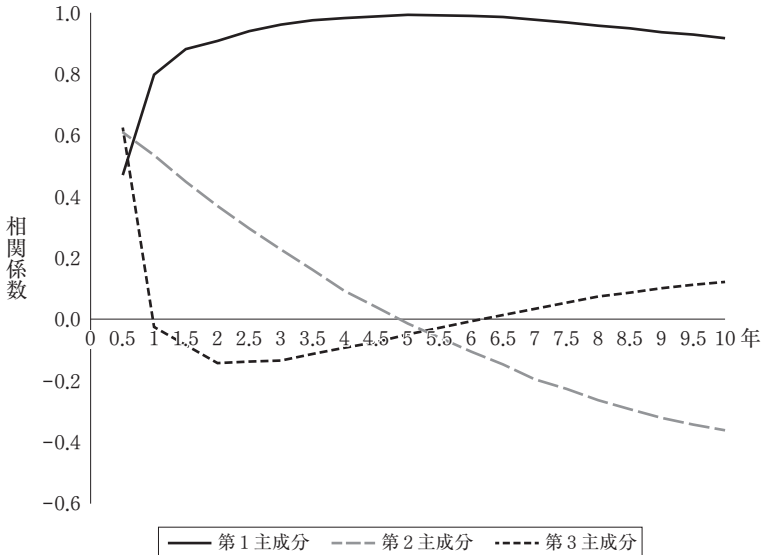
表6は相関係数をもとに主成分ごとの固有値を求め、その説明力を示したものである。ユーロについても、ほとんどの先行研究で採用されている第3主成分までの情報を示すことにした。表6に示されているように、GBPの場合もUSD同様、第1主成分の説明力が87%、第2主成分までの累積寄与率が96%、第3主成分までの累積寄与率が99%と3つの主成分でイールド・カーブの変動パターンのほぼすべてを説明できていると考えられる。

図7のスポット・レートに対する主成分負荷量をみると、ユーロ金利スワップ市場の変動は、全体の変動の87%を占める第1主成分がイールド・カーブの各年限にほぼ等しい影響を与えていることからイールド・カーブの水準への影響要因と考えられる。寄与率9%の第2主成分は5年を中心にした回転シフトの形でイールド・カーブの傾きに影響を与える変動要因と考えられる。そして寄与率3%の第3主成分は2年を底にするU字型となっていてイールド・カーブのシェイプを変える要因といえることができる。

表6 相関係数の固有値, 寄与率, 累積寄与率 (EUR) 全期間

主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	17.40		87%	87%
2	1.82	15.58	9%	96%
3	0.55	1.27	3%	99%

図7 スポット・レートに対する主成分負荷量 (EUR) 全期間



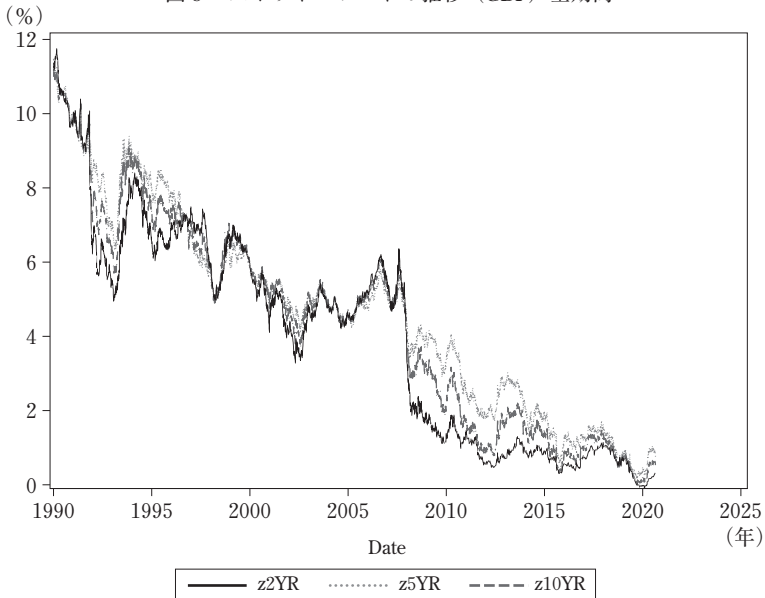
4. 英ポンド金利スワップ市場 (GBP)

図8は、英ポンド金利 (GBP) スワップ市場でのスポット・レートの推移を、2年 (z2YR)、5年 (z5YR)、10年 (z10YR) の5種類のスポット・レートについて示している。2008年を境に短期金利が大幅に低下し長短金利の差が拡大している (イールド・カーブの傾きが急になっている)。

表7は、GBP金利スワップ市場のスワップ金利から推計した0.5年から10年までの0.5年刻みのスポット・レートの日次変化幅について、相関係数を示したものである。表7の相関係数をみると、ここでも、全体的に、隣り合わせの年限のスポット・レートとの相関係数が高く、年限が離れるほど相関係数が小さくなる傾向がはっきりと読み取れる。

表8は相関行列をもとに主成分ごとの固有値を求め、その説明力を示したものである。ここでもほとんどの先行研究で採用されている第3主成分

図8 スポット・レートの推移（GBP）全期間



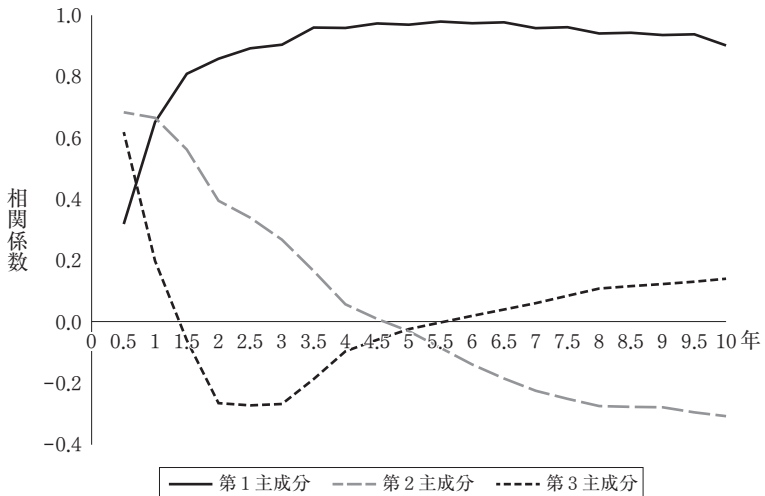
までの情報を示すことにした。表8に示されているように、GBPの場合も第1主成分の説明力が81%、第2主成分までの累積寄与率が92%、第3主成分までの累積寄与率が96%と3つの主成分でイールド・カーブの変動パターンのほぼすべてを説明できていると考えられる。

図9のスポット・レートに対する主成分負荷量をみると、GBP金利スワップ市場の変動要因は、全体の変動の81%を占める第1主成分がイールド・カーブの各年限にほぼ等しい影響を与えていることからイールド・カーブの水準への影響要因と考えられる。寄与率11%の第2主成分は4.5年スポット・レートを中心にそれより短い年限ではプラスの、長い年限ではマイナスの影響を、中心より離れるにしたがって大きく与えていることから、傾きに影響を与える変動要因と考えられる。そして寄与率4%の第3

表8 相関係数の固有値，寄与率，累積寄与率（GBP）全期間

主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	16.26		81%	81%
2	2.18	14.09	11%	92%
3	0.78	1.40	4%	96%

図9 スポット・レートに対する主成分負荷量（GBP）全期間



主成分は2～3年を底にするU字型となっていてイールド・カーブのシェイプを変える要因といえることができる。

5. 円金利スワップ市場（JPY）

図10は、円金利スワップ市場について、他の市場同様に、2年（z2YR）、5年（z5YR）、10年（z10YR）の3種類のスポット・レート推移を示している。分析対象期間の大きな傾向としては、金利の低下局面にあったとみることもできるが、1998年から2004年の低下局面の後、2004年から2008年の

上昇局面を経て、2008年から2016年までの低下局面、その後のわずかな上昇局面と、低下と上昇の両局面を含んでおり、長短金利差も縮小と拡大を繰り返してきた（イールド・カーブの水準と傾きが変化してきた局面である）とみることができる。全体としての金利水準は低いものの、イールド・カーブの動きを計測する対象期間としては適切なものと考えられる。

表9は、金利スワップ市場のスワップ金利から推計した0.5年から10年までの0.5年刻みのスポット・レートの日次変化幅について、相関係数を示したものである。表9の相関係数をみると、年限の近いスポット・レートの相関係数は高く、年限が離れるほど小さくなる傾向にあること、1年のスポット・レートと他の年限の相関係数は、2年以上のスポット・レート相互の相関係数より低い傾向にある。1年と2年の相関係数は0.655だ

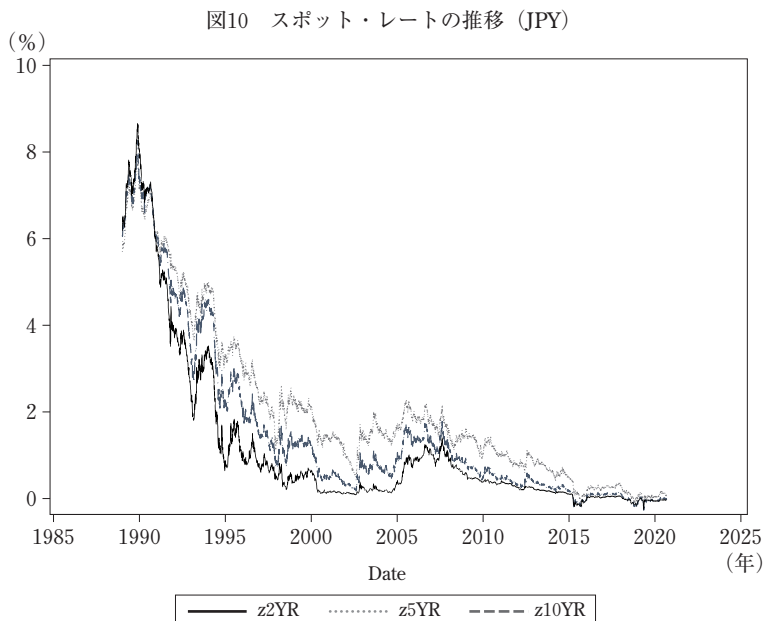


表9 スポット・レートの変化幅の相関係数 (JPY) 全期間

0.5年	1.0年	1.5年	2.0年	2.5年	3.0年	3.5年	4.0年	4.5年	5.0年	5.5年	6.0年	6.5年	7.0年	7.5年	8.0年	8.5年	9.0年	9.5年	10.0年
0.5年	1	0.805	0.562	0.300	0.289	0.266	0.254	0.232	0.221	0.203	0.194	0.181	0.170	0.157	0.153	0.146	0.148	0.148	0.136
1.0年	0.805	1	0.836	0.672	0.661	0.624	0.611	0.575	0.559	0.525	0.514	0.493	0.475	0.449	0.447	0.437	0.438	0.432	0.413
1.5年	0.562	0.836	1	0.875	0.865	0.821	0.807	0.762	0.746	0.705	0.693	0.668	0.646	0.613	0.613	0.602	0.601	0.591	0.574
2.0年	0.300	0.672	0.875	1	0.979	0.921	0.906	0.857	0.844	0.804	0.794	0.768	0.746	0.711	0.712	0.699	0.698	0.686	0.667
2.5年	0.289	0.661	0.865	0.979	1	0.981	0.964	0.910	0.901	0.861	0.852	0.827	0.803	0.767	0.769	0.756	0.755	0.742	0.721
3.0年	0.266	0.624	0.821	0.921	0.981	1	0.980	0.924	0.918	0.882	0.874	0.849	0.826	0.789	0.792	0.780	0.779	0.766	0.743
3.5年	0.254	0.611	0.807	0.906	0.964	0.980	1	0.981	0.970	0.926	0.921	0.898	0.875	0.838	0.843	0.830	0.831	0.818	0.794
4.0年	0.232	0.575	0.762	0.857	0.910	0.924	0.981	1	0.983	0.934	0.932	0.912	0.891	0.854	0.860	0.848	0.850	0.838	0.814
4.5年	0.221	0.559	0.746	0.844	0.901	0.918	0.970	0.983	1	0.984	0.978	0.953	0.931	0.894	0.899	0.887	0.888	0.876	0.855
5.0年	0.203	0.525	0.705	0.804	0.861	0.882	0.926	0.934	0.984	1	0.990	0.962	0.941	0.903	0.908	0.895	0.897	0.885	0.868
5.5年	0.194	0.514	0.693	0.794	0.852	0.874	0.921	0.932	0.978	0.990	1	0.991	0.975	0.943	0.947	0.931	0.935	0.925	0.899
6.0年	0.181	0.493	0.668	0.768	0.827	0.849	0.898	0.912	0.953	0.962	0.991	1	0.991	0.965	0.967	0.949	0.956	0.947	0.912
6.5年	0.170	0.475	0.646	0.746	0.803	0.826	0.875	0.891	0.931	0.941	0.975	0.991	1	0.991	0.987	0.963	0.971	0.963	0.924
7.0年	0.157	0.449	0.613	0.711	0.767	0.789	0.838	0.854	0.894	0.903	0.943	0.965	0.991	1	0.990	0.960	0.969	0.962	0.920
7.5年	0.153	0.447	0.613	0.712	0.769	0.792	0.843	0.860	0.899	0.908	0.947	0.967	0.987	0.990	1	0.990	0.990	0.975	0.952
8.0年	0.146	0.437	0.602	0.699	0.756	0.780	0.830	0.848	0.887	0.895	0.931	0.949	0.963	0.960	0.990	1	0.992	0.968	0.965
8.5年	0.148	0.438	0.601	0.698	0.755	0.779	0.831	0.850	0.888	0.897	0.935	0.956	0.971	0.969	0.990	0.992	1	0.992	0.963
9.0年	0.148	0.432	0.591	0.686	0.742	0.766	0.818	0.838	0.876	0.885	0.925	0.947	0.963	0.962	0.975	0.968	0.992	1	0.987
9.5年	0.144	0.428	0.591	0.686	0.741	0.765	0.817	0.837	0.878	0.889	0.924	0.942	0.957	0.954	0.977	0.980	0.991	0.987	1
10.0年	0.136	0.413	0.574	0.667	0.721	0.743	0.794	0.814	0.855	0.868	0.899	0.912	0.924	0.920	0.952	0.965	0.963	0.947	0.986

表10 相関係数の固有値, 寄与率, 累積寄与率 (変化幅: JPY) 全期間

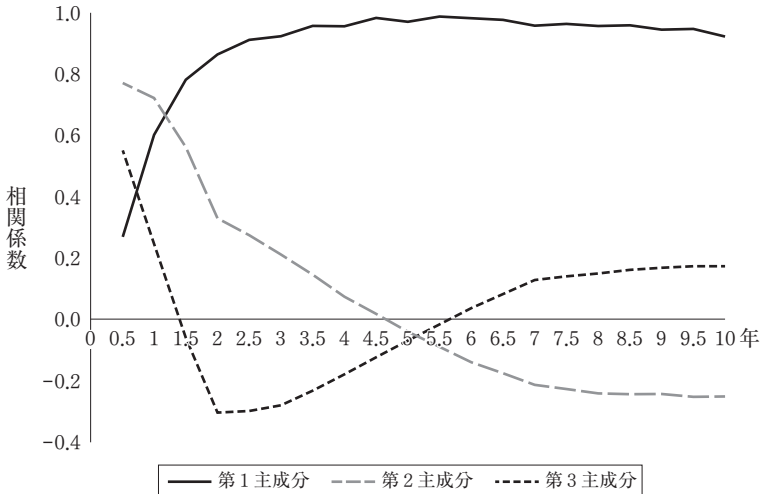
主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	16.18	14.06704	81%	81%
2	2.12	1.21	11%	91%
3	0.91	0.65	5%	96%

が、2年と3年は0.896、さらには3年と4年スポット・レートの相関係数は0.983と比較的高いことがわかる。

表10は相関係数をもとに主成分ごとの固有値を求め、その説明力を示したものである。表10の固有値をみると、第1主成分の説明力(寄与率)が81%と、第1主成分によって大半の動きを説明できている。さらに第3主成分までの説明力(累積寄与率)も96%と、3つの主成分でほとんどの動きを説明できていると考えてよいだろう。

スポット・レート変化幅に対する主成分ごとの主成分負荷量を図11に描いている。横軸は年限で縦軸は相関係数である。図11をみると、第1主成分は0.5～1年の主成分負荷量は少し小さいが、他の年限に対しては0.9以上と同程度の影響を与えている。先行研究でみるイールド・カーブの水準への影響要因として示されている典型的な状況である。第2主成分は4.5年と5年の間を中心に短い期間はプラスの影響を短いほど大きく、長い期間はマイナスの影響を長いほど大きく(値としては小さく)及ぼす要因と考えることができ、傾きに影響を与える要因と考えられているものである。そして寄与率5%の第3主成分は2年を底にするV字型となっていてイールド・カーブのシェイプ(曲率)を変える要因と考えることができる。このイールド・カーブの変動は、まさに典型的な教科書にみられるような動きを示していると考えてよいだろう。

図11 スポット・レート変化幅に対する主成分負荷量（JPY）全期間

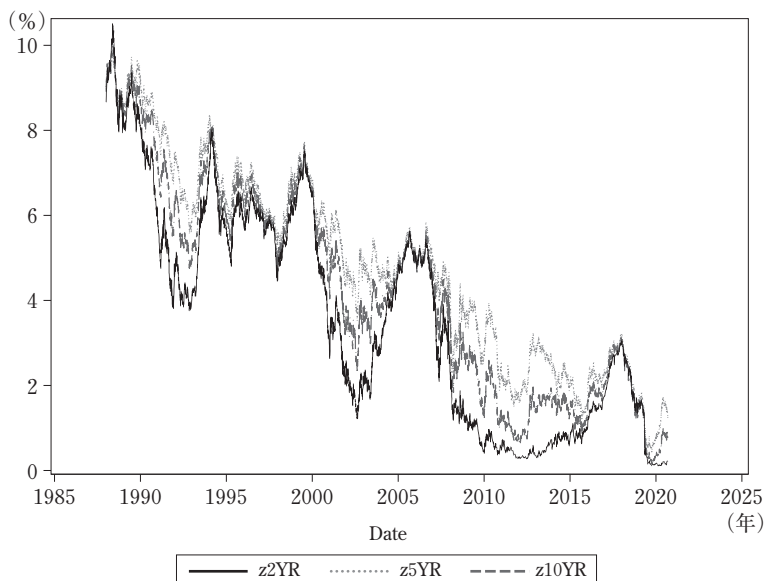


6. 米ドル金利スワップ市場（USD）

図12は、米ドル金利スワップ市場のスポット・レートの推移を、2年（z2YR）、5年（z5YR）、10年（z10YR）の3種類のスポット・レートについて図示している。米ドル金利スワップ市場も、円金利スワップ市場と同様の推移を観察することができる。すなわち全体的な傾向としては、金利の低下局面で、1998年から2000年の上昇の後、2004年にかけての低下局面の後、2004年から2006年の上昇局面を経て、2008年から2014年までの低下局面、その後のわずかな上昇局面と、低下と上昇の両局面を含んでおり、長短金利差も縮小と拡大を繰り返してきた（イールド・カーブの水準と傾きが変化してきた局面である）とみることができる。

表11の相関係数をみると、0.5年スポット・レートの他の年限との相関係数が円金利スワップ市場の場合よりは若干低いが、全体的に、隣り合わせの年限のスポット・レートとの相関係数が高く、年限が離れるほど相関

図12 スポット・レートの変動（USD）全期間



係数が小さくなる傾向がはっきりと読み取れる。

表12は相関係数をもとに主成分ごとの固有値を求め、第3主成分までについて、その説明力を示したものである。表12に示されているように、米ドル金利スワップ市場においては、第1主成分の寄与率が83%とこの主成分で大半の変動を説明できている。さらに第2主成分までの累積寄与率が92%、第3主成分までの累積寄与率が96%と3つの主成分でイールド・カーブの変動パターンのほぼすべてを説明できていると考えられる。

図13のスポット・レートに対する主成分負荷量をみると、全体の変動の83%を占める第1主成分が（0.5～1年の主成分負荷量は小さいが）イールド・カーブの各年限にほぼ等しい影響を与えていることからイールド・カーブの水準への影響要因と考えられる。寄与率8%の第2主成分は4年以下の

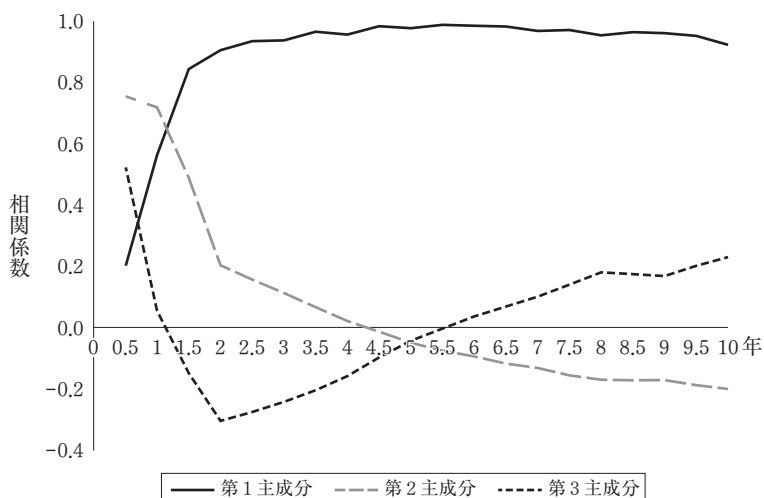
表11 スポット・レートの変化幅の相関係数 (USD) 全期間

	0.5年	1.0年	1.5年	2.0年	2.5年	3.0年	3.5年	4.0年	4.5年	5.0年	5.5年	6.0年	6.5年	7.0年	7.5年	8.0年	8.5年	9.0年	9.5年	10.0年
0.5年	1	0.553	0.407	0.200	0.193	0.178	0.170	0.156	0.154	0.148	0.147	0.145	0.145	0.142	0.142	0.139	0.138	0.135	0.133	0.127
1.0年	0.553	1	0.869	0.582	0.576	0.552	0.545	0.516	0.517	0.502	0.496	0.484	0.474	0.456	0.453	0.440	0.442	0.438	0.432	0.416
1.5年	0.407	0.869	1	0.908	0.895	0.853	0.850	0.812	0.815	0.792	0.785	0.769	0.757	0.733	0.724	0.698	0.706	0.703	0.688	0.657
2.0年	0.200	0.582	0.908	1	0.983	0.935	0.935	0.899	0.902	0.876	0.870	0.855	0.843	0.819	0.806	0.776	0.786	0.785	0.765	0.728
2.5年	0.193	0.576	0.895	0.983	1	0.985	0.974	0.925	0.932	0.908	0.905	0.891	0.880	0.856	0.846	0.817	0.827	0.826	0.807	0.771
3.0年	0.178	0.552	0.853	0.935	0.985	1	0.980	0.921	0.930	0.909	0.908	0.897	0.887	0.863	0.856	0.829	0.840	0.838	0.821	0.786
3.5年	0.170	0.545	0.850	0.935	0.974	0.980	1	0.980	0.977	0.942	0.942	0.931	0.922	0.899	0.893	0.866	0.878	0.876	0.859	0.825
4.0年	0.156	0.516	0.812	0.899	0.925	0.921	0.980	1	0.984	0.936	0.937	0.928	0.920	0.899	0.894	0.869	0.880	0.879	0.863	0.830
4.5年	0.154	0.517	0.815	0.902	0.932	0.930	0.977	0.984	1	0.984	0.982	0.968	0.960	0.937	0.934	0.910	0.923	0.922	0.908	0.874
5.0年	0.148	0.502	0.792	0.876	0.908	0.909	0.942	0.936	0.984	1	0.994	0.978	0.969	0.946	0.945	0.922	0.935	0.934	0.922	0.891
5.5年	0.147	0.496	0.785	0.870	0.905	0.908	0.942	0.937	0.982	0.994	1	0.994	0.986	0.964	0.964	0.942	0.957	0.957	0.943	0.909
6.0年	0.145	0.484	0.769	0.855	0.891	0.897	0.931	0.928	0.968	0.978	0.994	1	0.993	0.971	0.972	0.952	0.968	0.969	0.953	0.918
6.5年	0.145	0.474	0.757	0.843	0.880	0.887	0.922	0.920	0.960	0.969	0.986	0.993	1	0.993	0.988	0.961	0.975	0.974	0.961	0.927
7.0年	0.142	0.456	0.733	0.819	0.856	0.863	0.899	0.899	0.937	0.946	0.964	0.971	0.993	1	0.989	0.955	0.967	0.965	0.954	0.923
7.5年	0.142	0.453	0.724	0.806	0.846	0.856	0.893	0.894	0.934	0.945	0.964	0.972	0.988	0.989	1	0.989	0.991	0.979	0.975	0.951
8.0年	0.139	0.440	0.698	0.776	0.817	0.829	0.866	0.869	0.910	0.922	0.942	0.952	0.961	0.955	0.989	1	0.993	0.970	0.974	0.958
8.5年	0.138	0.442	0.706	0.786	0.827	0.840	0.878	0.880	0.923	0.935	0.957	0.968	0.975	0.967	0.991	0.993	1	0.992	0.989	0.965
9.0年	0.135	0.438	0.703	0.785	0.826	0.838	0.876	0.879	0.922	0.934	0.957	0.969	0.974	0.965	0.979	0.970	0.992	1	0.990	0.958
9.5年	0.133	0.432	0.688	0.765	0.807	0.821	0.859	0.863	0.908	0.922	0.943	0.953	0.961	0.954	0.975	0.974	0.989	0.990	1	0.990
10.0年	0.127	0.416	0.657	0.728	0.771	0.786	0.825	0.830	0.874	0.891	0.909	0.918	0.927	0.923	0.951	0.958	0.965	0.958	0.990	1

表12 相関係数の固有値, 寄与率, 累積寄与率 (USD) 全期間

主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	16.69		83%	83%
2	1.65	15.04	8%	92%
3	0.83	0.82	4%	96%

図13 スポット・レートに対する主成分負荷量 (USD) 全期間



年限ではプラス, 5年以上の年限ではマイナスの影響を4年より離れるにしたがって大きく与えていることから, 傾きに影響を与える変動要因と考えられる。そして寄与率4%の第3主成分は2年を底にするV字型となっていてイールド・カーブのシェイプ(曲率)を変える要因と考えることができる。

7. 各金利スワップ市場のまとめ

表13は, 以上の分析結果の内, 主成分分析での第3主成分までの累積寄

表13 第3主成分までの累積寄与率の比較 全期間

通貨	累積寄与率		
	第1主成分	第2主成分	第3主成分
AUD	71%	84%	89%
CHF	82%	93%	97%
EUR	87%	96%	99%
GBP	81%	92%	96%
JPY	81%	91%	96%
USD	83%	92%	96%

与率を通貨ごとにまとめたものである。

AUDの説明力が他の通貨と比べ10ポイントほど低いが、その他通貨のイールド・カーブ変動は、第1主成分で80%以上、第2主成分で90%以上、第3主成分では95%以上とほとんどの動きを3つの主成分で説明できていることから、0.5年刻みで10年までのリスク・ファクターに対するヘッジとして、3つのヘッジ・ツールで対応できそうだとことがわかる。

本稿でも、多くの先行研究に倣って第3主成分までに注目したが、イールド・カーブのリスク・ヘッジという目的からすると、3つの主成分にこだわる必要はないかもしれない。最初に述べた通り、20種類のスポット・レート動きを集約化することで、ヘッジ・ツールを減らすことが目的なので、例えば、AUD以外は第2主成分までで全体の90%以上、さらにEURに関しては96%の動きを説明できているのであるから、第2主成分までに注目して、2つのヘッジ・ツールによるリスク管理で十分かもしれない。さらには、第1主成分で80%以上の（AUDについては70%以上となるが）動きを説明できるのであれば、1種類の動きに注目することでヘッジの手間を大幅に減らすことができる。あるいは、80%以上の累積寄与率ということに注目すれば、AUDは第2主成分までを、その他の通貨は第1

主成分をヘッジに利用するということも考えられる。

この動きがイールド・カーブの平行シフトであるなら、有効デフレーションの概念とその活用で可能であるということになる。ただ、第1主成分の解釈としては、本稿も含め、イールド・カーブのシフト要因であるとすることが多いが、主成分負荷量でみた実際の動きは、純粋なシフト要因というわけではないので、解釈は別として、ヘッジに利用する場合には、有効デフレーションにこだわる必要はない。

こうした点については、ヘッジの評価のための尺度を導入した比較、検討が必要となるところであるが、それは今後の課題としたい。

参考文献

- Abad, P. & Benito, S. (2007), "Value at risk in fixed income portfolios : A comparison between empirical models of the term structure," *The Business Review Cambridge*, 7 (2), p. 342.
- 秋森弘 (2012) 「マクロ経済データ、国債現存額の増減が国債利回り曲線に与える影響について」『北星学園大学経済学部北星論集』52 (1), 39-51頁。
- (2013) 「マクロ経済データ、国債現存額の増減が国債利回り曲線に与える影響について (2)」『北星学園大学経済学部北星論集』52 (2), 95-111頁。
- (2018) 「非伝統的金融緩和の下での国債イールド・カーブの推移」『東京経大会誌』第299号, 33-57頁。
- Bai, J. (2003), "Inferential theory for factor models of large dimensions," *Econometrica*, 71 (1), pp. 135-171.
- Barber, J.R. & Copper, M.L. (1996), "Immunization using principal component analysis," *The Journal of Portfolio Management*, 23 (1), pp. 99-105.
- Barber, J.R. & Copper, M.L. (2012), "Principal component analysis of yield curve movements," *Journal of Economics and Finance*, 36 (3), pp. 750-765.
- Bernanke, B.S. & Boivin, J. (2003), "Monetary policy in a data-rich environment," *Journal of Monetary Economics*, 50 (3), pp. 525-546.
- Boivin, J. & Ng, S. (2006), "Are more data always better for factor analysis?," *Journal of Econometrics*, 132 (1), pp. 169-194.
- Campbell, J.Y. (1995), "Some lessons from the yield curve," *Journal of Economic*

- Perspectives*, 9 (3), pp. 129-152.
- Campbell, J.Y. & Shiller, R.J. (1991), "Yield spreads and interest rate movements: A bird's eye view," *The Review of Economic Studies*, 58 (3), pp. 495-514.
- Carcano, N. (2009), "Yield curve risk management: adjusting principal component analysis for model errors," *The Journal of Risk*, 12 (1), p. 3.
- Carcano, N. & Hakim, D.O. (2011), "Alternative models for hedging yield curve risk: An empirical comparison," *Journal of Banking & Finance*, 35 (11), pp. 2991-3000.
- Cochrane, J.H. & Piazzesi, M. (2005), "Bond risk premia," *American Economic Review*, 95 (1), pp. 138-160.
- Dai, Q., Singleton, K.J. & Yang, W. (2007), "Regime shifts in a dynamic term structure model of US Treasury bond yields," *Review of Financial Studies*, 20 (5), pp. 1669-1706.
- Diebold, F.X. & Li, C. (2006), "Forecasting the term structure of government bond yields," *Journal of Econometrics*, 130 (2), pp. 337-364.
- Dolan, C.P. (1999), "Forecasting the Yield Curve Shape: Evidence in Global Markets," *The Journal of Fixed Income*, 9 (1), pp. 92-99.
- Dungey, M., Martin, V.L. & Pagan, A.R. (2000), "A multivariate latent factor decomposition of international bond yield spreads," *Journal of Applied Econometrics*, 15 (6), pp. 697-715.
- Estrella, A. & Hardouvelis, G.A. (1991), "The term structure as a predictor of real economic activity," *The Journal of Finance*, 46 (2), pp. 555-576.
- Fabozzi, F.J., Martellini, L. & Priaulet, P. (2005), "Predictability in the shape of the term structure of interest rates," *The Journal of Fixed Income*, 15 (1), pp. 40-53.
- Falkenstein, E. & Hanweck, J. (1997), "Minimizing basis risk from non-parallel shifts in the yield curve Part II: Principal Components," *Journal of Fixed Income*, 7, pp. 85-90.
- Fama, E.F. & Bliss, R.R. (1987), "The Information in Long-Maturity Forward Rates," *American Economic Review*, 77 (4), pp. 680-692.
- 藤井眞理子・高岡慎 (2008) 「金利の期間構造とマクロ経済: Nelson-Siegel モデルを用いた実証分析」『金融研究研修センター・ディスカッションペーパー』。
- Geyer, A.L. & Pichler, S. (1999), "A state - space approach to estimate and test multifactor Cox-Ingersoll-Ross models of the term structure," *Journal of Financial Research*, 22 (1), pp. 107-130.
- Golub, B.W. & Tilman, L.M. (1997), "Measuring yield curve risk using principal components analysis, value at risk, and key rate durations," *Journal of Portfolio*

- Management*, 23 (4), p. 72.
- Golub, B.W. & Tilman, L.M. (2000), *Risk Management: Approaches for Fixed Income Markets* (Vol. 73). John Wiley & Sons.
- Hansen, Bruce E (1997), "Approximate Asymptotic P Values for Structural-Change Tests", *Journal of Business and Economic Statics*, Vol. 15, No. 1, pp. 60-67.
- 飯星博邦 (2009) 「主成分分析によるマクロ経済パネルデータの共通ファクターの抽出とその利用」『内閣府経済社会総合研究所・ディスカッションペーパー』 No. 219。
- Ilmanen, A. (1995). "Time-varying expected returns in international bond markets," *The Journal of Finance*, 50 (2), pp. 481-506.
- 草場洋方 (2010) 「主成分分析による国債スポットレートカーブの構造把握とその予測可能性の検討～マクロ経済・金融変数に基づく共通ファクターモデルの利用～」『みずほレポート』みずほ総合研究所。
- Leibowitz, M.L. (1983), "How financial theory evolves into the real world – or not: The case of duration and immunization," *Financial Review*, 18 (4), pp. 271-280.
- Lekkos, I. (2001), "Factor models and the correlation structure of interest rates: Some evidence for USD, GBP, DEM and JPY," *Journal of Banking & Finance*, 25 (8), pp. 1427-1445.
- Litterman, R. & Scheinkman, J. (1991), "Common factors affecting bond returns," *Journal of Fixed Income*, 1 (1), pp. 54-61.
- Liu, N.L. (2010), "A comparative study of principal component analysis on term structure of interest rates," *JSIAM letters*, 2, pp. 57-60.
- Ludvigson, S.C. & Ng, S. (2009), "Macro factors in bond risk premia," *The Review of Financial Studies*, 22 (12), pp. 5027-5067.
- Modigliani, F. & Sutch, R. (1966), "Innovations in interest rate policy," *American Economic Review*, 56 (1/2), pp. 178-197.
- Mohan, R. (2006), "Recent trends in the Indian debt market and current initiatives," *Reserve Bank of India Bulletin*.
- Nelson, C.R. & Siegel, A.F. (1987), "Parsimonious modeling of yield curves," *Journal of Business*, pp. 473-489.
- Novosyolov, A. & Satchkov, D. (2008), "Global term structure modelling using principal component analysis," *Journal of Asset Management*, 9 (1), pp. 49-60.
- 太田尚之 (2004) 「債券の価格変化を分析するには?」『ニッセイ基礎研 report』 (83), 12-17頁。
- Patel, K., Mohamed, A. & van Vuuren, G.W. (2018), "A regression and comparative

- study of United States and South African yield curves using principal component analysis," *South African Journal of Economic and Management Sciences*, 21 (1), pp. 1-15.
- Phoa, W. (2000), "Yield curve risk factors: domestic and global contexts," *The Professional's Handbook of Financial Risk Management*, Oxford: Butterworth-Heinemann, pp. 155-184.
- Rebonato, R., Mahal, S., Joshi, M., Buchholz, L.D. & Nyholm, K. (2005), "Evolving yield curves in the real-world measures: A semi-parametric approach," *The Journal of Risk*, 7 (3), p. 1.
- Reisman, H. & Zohar, G. (2004), "Short-term predictability of the term structure," *The Journal of Fixed Income*, 14 (3), pp. 7-14.
- Söderlind, P. & Svensson, L. (1997), "New techniques to extract market expectations from financial instruments," *Journal of Monetary Economics*, 40 (2), pp. 383-429.
- Soto, G.M. (2004), "Duration models and IRR management: A question of dimensions?," *Journal of Banking & Finance*, 28 (5), pp. 1089-1110.
- Stock, J.H. & Watson, M.W. (1998), "Diffusion indexes," *NBER Working Paper*, (w6702).
- (1999), "Forecasting inflation," *Journal of Monetary Economics*, 44 (2), pp. 293-335.
- (2002), "Macroeconomic forecasting using diffusion indexes," *Journal of Business & Economic Statistics*, 20 (2), pp. 147-162.
- 高橋豊治 (2006) 「公社債流通市場におけるイールド・カーブの計測」『企業研究』第9号。
- (2008) 「金利リスクの測定方法の展開—イールド・カーブ変動パターンの測定—」『企業研究』第13号。
- (2014) 「金利変動に影響を与える共通要因について」『企業研究』第25号 73-93頁。
- (2017a) 「イールド・カーブ変動パターンの測定」『社会イノベーション研究』第12巻第1号, 65-100頁。
- (2017b) 「本邦のイールド・カーブ変動パターンの測定(1)」『商学論纂』第59巻第1・2号 (2017年9月) 169-200頁。
- (2018a) 「本邦のイールド・カーブ変動パターンの測定(2)」Were the Curves "Kinky"? (林田博光教授古稀記念論文集)『商学論纂』第59巻第3・4号, 435-499頁。
- (2018b) 「本邦のイールド・カーブ変動パターンの測定(3)」(矢内一好教授

- 古稀記念論文集『商学論纂』第59巻第5・6号, 407-477頁。
- (2019a) 「イールド・カーブ変動パターンの測定」『同志社商学』70巻6号, 241-309頁。
- (2019b) 「イールド・カーブ変動パターンの測定—円 (JPY), 米ドル (USD), 英ポンド (GBP), スイスフラン (CHF) 金利スワップ市場での比較 (1)—」『商学論纂』第61巻第1・2号。
- (2019c) 「イールド・カーブ変動パターンの測定—円 (JPY), 米ドル (USD), 英ポンド (GBP), スイスフラン (CHF) 金利スワップ市場での比較 (2)—」『商学論纂』第61巻第3・4号。
- 高橋豊治・阿部卓哉・石川和宏 (2010) 「本邦国債流通市場におけるイールド・カーブの形状変化—BB 国債価格 (引値) を用いた実証分析」『企業研究』(17), 119-156頁。
- Taylor, M.M.P. (1991), “Modelling the Yield Curve,” *IMF Working Papers* Volume 1991 : Issue 134
- 津金眞理子・橋本恭志 (1995) 「金利の期間構造のコモンファクターと経済変動」『証券アナリストジャーナル』, 33 (4), 2-14頁。
- 山岸吉輝・本廣守 (2010) 「マクロファクターを利用した金利期間構造のモデル化」『証券アナリストジャーナル』, 48 (8), 14-25頁。
- 米澤康博・鈴木輝好 (1997) 「国債市場におけるタームストラクチャーの変動要因」『現代ファイナンス』No. 2, 71-86頁。
- Zhang, J., Chen, Y., Klotz, S. & Lim, K.G. (2017), “International yield curve prediction with common functional principal component analysis,” In *Robustness in Econometrics* (pp. 287-304). Springer, Cham.