

## イールド・カーブ変動の測定

——スポット・レート変化幅の主成分分析による，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変動比較（1）——

高橋 豊 治

### 目 次

- I. はじめに
- II. 先行研究
- III. 市場ごとのイールド・カーブ変動
  1. 日本円金利スワップ市場（JPY）
  2. 米ドル金利スワップ市場（USD）
  3. 英ポンド金利スワップ市場（GBP）
  4. スイスフラン金利スワップ市場（CHF）
  5. 各通貨の金利スワップ市場の比較（以上，本号）
- IV. サブ・ペリオドでの分析
  1. 世界金融危機前後の比較（2008年9月15日のリーマンブラザーズ  
経営破綻前後）
  2. 通常期
  3. ゼロ金利政策期
  4. ゼロ金利政策解除期
  5. 量的緩和政策期
  6. 量的緩和政策解除期
  7. 包括的緩和政策期
  8. 質的量的緩和 QQE 1 期
  9. 質的量的緩和 QQE 2 期
  10. マイナス金利政策期
  11. イールド・カーブ・コントロール政策期
- V. おわりに

## I. はじめに

本稿は、金利リスク・ヘッジも視野に入れて、円 (JPY)、米ドル (USD)、英ポンド (GBP)、スイスフラン (CHF) の各通貨の金利スワップ市場におけるイールド・カーブを計測し<sup>1)</sup>、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、もとなる変動要因を集約する試みである。高橋 (2018a) (2018b) (2019a) (2019b) で行った日次のスポット・レート変化 (変化率) との比較も加え、4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<sup>2)</sup>。

高橋 (2018a) では、円金利スワップ市場の ISDAFIX データの利用可能な期間に注目してさらに追加的な分析を試みるとともに、超長期国債に関する分析も行った。期間は1996年4月1日から2016年11月11日まで、これをさらに ISDAFIX データの利用可能な2014年1月24日までとそれ以降とに分けた検討も加えた。円金利に関しては、ISDAFIX データの利用可能な2014年1月24日までとそれ以降とでは、イールド・カーブの変動パターンが大きく異なっていることが明らかにされた。

イールド・カーブの動きの共通変動要因の影響力の大きさと、各要因のイールド・カーブへ与える影響の違いをみると、2014年1月以前のイールド・カーブに対する因子負荷量から、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0.5年のスポット・レートの変動要因と考えることができる。金利スワップ市場でも、

---

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) に続き、分析開始 (1996年4月1日) 時点で主要な通貨4種類を取り上げた。

国債流通市場でも、多少の違いはあるものの、この傾向は概ね共通している。

しかし、円の市場、すなわち長期国債や、超長期国債、円金利スワップの市場においては、2014年1月24日以降のイールド・カーブの動きの共通変動要因がはっきりしなくなっている。この影響もあって、全体の期間での変動もはっきりしない。一方、米ドル金利スワップ市場ではそのような傾向がみられず、2014年1月24日より前、後であっても、今回分析対象にした全期間であっても、多少の違いはあるものの概ね似たような動きをしており、少なくとも円の市場のように期間によって大きな違いは観察されなかった（米ドルの市場は、円の市場と違って、期間による変動パターンの違いがないという）。通貨による因子負荷量のイールド・カーブの各年限に与える影響の違いを考えると、イールド・カーブ変動パターンの変化は、日本独自の市場要因によるものであることが予想される。独自の市場要因としてまず考えられることは、日本銀行の金融政策であろう。つまりイールド・カーブ変動パターンの変化は日本銀行の金融政策の変更による市場環境の変化によって生じているのではないかと考えられる。

そこで、高橋（2018b）（2019a）（2019b）（2019c）では、日本銀行の金融政策変更に合わせて期間を以下のサブ・ピリオドに分けた分析を試みた。量的緩和と政策解除（2006年3月9日）から質的量的緩和と政策QQE1導入（2013年4月4日）まで、質的量的緩和と政策QQE1導入（2013年4月4日）から質的量的緩和と政策QQE2導入（2014年10月31日）まで（「QQE1」期間）、質的量的緩和と政策QQE2導入（2014年10月31日）からマイナス金利政策導入（2016年1月29日）まで、そして最後にマイナス金利政策導入（2016年1月29日）からイールド・カーブ・コントロール政策YCC導入（2016年9月21日）以前までの期間である。さらに高橋（2019a）では、これらのサブ・ピリオドについて、円以外の通貨でのイールド・カーブ変動も含めて総合して検

討している<sup>3)</sup>。

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を簡単に整理する。Ⅲ節において計測期間を拡張し、円金利スワップ、米ドル金利スワップ、英ポンド金利スワップ、スイスフラン金利スワップという市場ごとのイールド・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うことで、イールド・カーブの変動を通貨ごとに比較することで、市場ごとにどのような特徴がみられるかを明らかにする。Ⅳ節（次号）では世界金融危機（いわゆるリーマンショック）前後でのイールド・カーブの動きの特徴にどのような変化がみられるか、さらには日本銀行の金融政策変更に合わせて期間をサブ・ペリオドに分けイールド・カーブの動きを分析したのち、Ⅴ節で、全体のまとめを行う。

## Ⅱ. 先行研究

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

---

3) 円以外の金利スワップ市場については、日本銀行の金融政策の影響を直接受けることはないと考えられるが、円のイールド・カーブの変動が日本銀行の金融政策の影響によるものなのか、世界的な金利変動の傾向なのかを考えるため、すべての市場でのイールド・カーブの動きを統一したサブ・ペリオドで検討する。また年限に関しても、より広範な対象期間で検討が可能な1年から10年までのスポット・レートを対象にした。さらに、より全体の特徴がはっきりするように、1年から10年までのスポット・レートを1年刻み（1年、2年、3年、…、8年、9年、10年）で分析対象にし、これらの変動に関して検討を加えた。

(1997), Soto (2004), Abad and Benito (2007)などを挙げるができる。Litterman and Scheinkman (1991) はリスク・ヘッジ手法に主成分分析を適用とする最初の試みのひとつである。Falkenstein and Hanweck (1997) は債リスク・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, Mohamed & van Vuuren (2018) などがある。Reisman and Zohar (2004) は金利変動要因を分析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), 草場 (2010), 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・レートに基づいた) 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。

### 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。円 (JPY), 米ドル (USD), 英ポンド (GBP), スイスフラン (CHF) の 4 種類の通貨に関する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。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  $j$  年スポット・レート  $r_{j,t}$  の変化幅  $\tilde{x}_{j,t} = \frac{dr_{j,t}}{r_{j,t}}$  をリスク・ファクターとして想定している場合  $\tilde{x}_{j,t}$  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, 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・レートの変化幅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示されている。そこで, 今回は  $t$  時点の  $j$  年スポット・レート  $r_{j,t}$  の  $t-1$  時点からの変化幅  $\Delta r_{j,t} = r_{j,t} - r_{j,t-1}$  をリスク・ファクターとした主成分分析を試みた。

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, 1年から10年までの1年刻みのスポット・レートの変化幅 ( $\Delta 010, \Delta 020, \dots, \Delta 100$ という記号にした) 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・カーブの変動

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のとスポット・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。先行研究では、第3主成分までをイールド・カーブの変動パターンを決定する共通要因と考えるものが多いことから、今回は（累積寄与度の程度にかかわらず）いずれの市場についてもイールド・カーブの変動に対する第1主成分から第3主成分までの影響に限定して因子負荷量を示している。 $j$ 年のスポット・レート変化幅  $\Delta r_{j,t}$  について、第1から第3主成分 ( $F_1, F_2, F_3$ ) の影響を求める。具体的には、

$$x_j = a_{j,1}F_1 + a_{j,2}F_2 + a_{j,3}F_3 + e_j$$

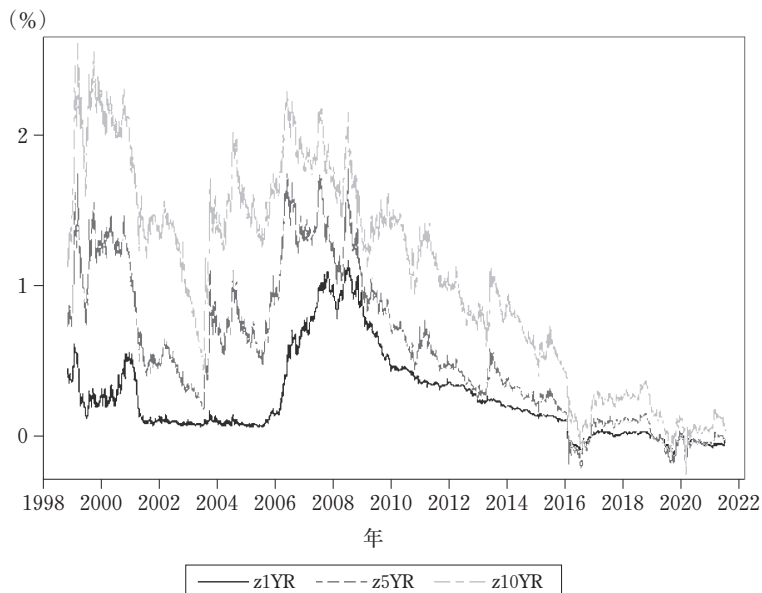
について  $a_{j,k} = \sqrt{\lambda_k} \cdot w_{j,k}$  を求める。それぞれの図について、component 1-3は、それぞれ、第1主成分、第2主成分、第3主成分であることを意味している。

分析は1998年10月1日から2021年7月9日までの日次データにより行い、各国のLIBORならびに金利スワップのデータはすべて Bloomberg のものである。

## 1. 日本円金利スワップ市場 (JPY)

図1は、円金利スワップ市場について、1年 (z1YR)、5年 (z5YR)、10

図1 スポット・レートの推移 (JPY)



年 (z10YR) の3種類のスポット・レートの推移を示している。

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。前述の通り、今回の分析においては、このスポット・レートの日次の変化幅  $\Delta r_{j,t}$  を変動要因として主成分分析を行う。

表1の相関係数をみると、期間の近いスポット・レートの相関係数は高



表1 スポット・レートの変化幅の相関行列（JPY）全期間

	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
1年	1	0.655	0.608	0.562	0.508	0.475	0.442	0.429	0.418	0.400
2年	0.655	1	0.896	0.834	0.777	0.739	0.690	0.672	0.644	0.626
3年	0.608	0.896	1	0.938	0.889	0.858	0.811	0.798	0.772	0.749
4年	0.562	0.834	0.938	1	0.938	0.916	0.867	0.864	0.843	0.821
5年	0.508	0.777	0.889	0.938	1	0.960	0.935	0.920	0.903	0.893
6年	0.475	0.739	0.858	0.916	0.960	1	0.965	0.954	0.938	0.922
7年	0.442	0.690	0.811	0.867	0.935	0.965	1	0.963	0.952	0.938
8年	0.429	0.672	0.798	0.864	0.920	0.954	0.963	1	0.975	0.952
9年	0.418	0.644	0.772	0.843	0.903	0.938	0.952	0.975	1	0.955
10年	0.400	0.626	0.749	0.821	0.893	0.922	0.938	0.952	0.955	1

く、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2の固有値をみると、第1主成分の説明力（寄与率）が82.3%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96.1%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。

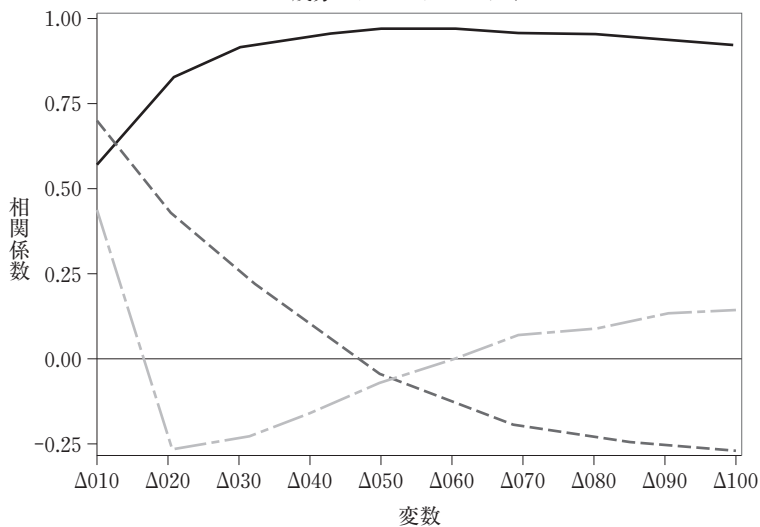
スポット・レート変化幅に対する主成分ごとの因子負荷量を図2に描いている。横軸は変化幅で縦軸は相関係数である。図2をみると、第1主成分は1年の因子負荷量は0.58であり、2年は0.82と少し小さいが、他の年限に対しては0.9以上と同程度の影響を与えている。先行研究でみるイールド・カーブの水準への影響要因として示されている典型的な状況である。第2主成分は4年から5年の間を中心に短い期間はプラスの影響を短

表2 相関行列の固有値, 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	8.23	7.23	82.3%	82.3%
2	1.00	0.61	10.0%	92.3%
3	0.38	0.26	3.8%	96.1%
4	0.13	0.06	1.3%	97.4%
5	0.07	0.01	0.7%	98.1%
6	0.06	0.01	0.6%	98.7%
7	0.05	0.01	0.5%	99.2%
8	0.03	0.01	0.3%	99.5%
9	0.03	0.00	0.3%	99.8%
10	0.02		0.2%	100.0%

図2 スポット・レート変化幅に対する因子負荷量 (JPY) 全期間

成分パターンプロファイル



主成分 — 1 — - - - 2 — · - · - 3

いほど大きく、長い期間にマイナスの影響を長いほど大きな影響（値としては小さく）を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3.8%の第3主成分は2年を底にするV字形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<sup>4)</sup>。

## 2. 米ドル金利スワップ市場（USD）

図3は、米ドル金利スワップ市場のスポット・レートの推移を、1年（z1YR）、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3の相関係数をみると、1年のスポット・レートの他の年限のスポット・レートとの相関係数が円金利スワップ市場の場合より若干低いようにもみえるが、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

4) 高橋（2019a）他で示した通り、本来第3主成分は、第1、第2主成分が説明できない6か月物スポット・レートの変動要因を示すものであるが（そのことがイールド・カーブのシェイプを変える動きをしている）、1年刻みのスポット・レートでイールド・カーブの変動傾向をみているため、0.5年刻みの分析で明らかになった6か月物のスポット・レートの他のスポット・レートとの動きの違いを包み隠している。

図3 スポット・レートの推移 (USD) 全期間

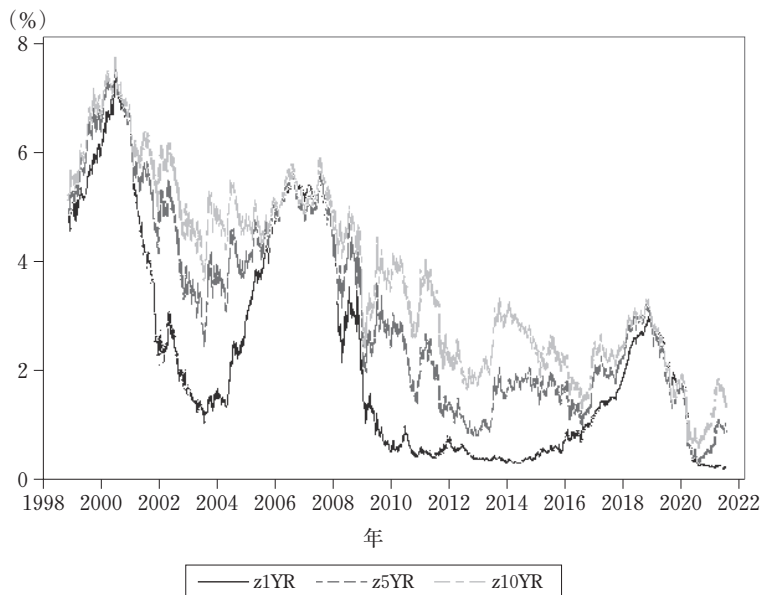


表3 スポット・レートの変化幅の相関行列 (USD) 全期間

	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
1年	1	0.703	0.643	0.622	0.585	0.562	0.530	0.509	0.501	0.485
2年	0.703	1	0.930	0.926	0.884	0.861	0.826	0.794	0.784	0.757
3年	0.643	0.930	1	0.938	0.910	0.895	0.864	0.839	0.832	0.809
4年	0.622	0.926	0.938	1	0.973	0.964	0.937	0.916	0.913	0.891
5年	0.585	0.884	0.910	0.973	1	0.980	0.957	0.941	0.944	0.928
6年	0.562	0.861	0.895	0.964	0.980	1	0.973	0.965	0.972	0.952
7年	0.530	0.826	0.864	0.937	0.957	0.973	1	0.971	0.968	0.956
8年	0.509	0.794	0.839	0.916	0.941	0.965	0.971	1	0.974	0.961
9年	0.501	0.784	0.832	0.913	0.944	0.972	0.968	0.974	1	0.984
10年	0.485	0.757	0.809	0.891	0.928	0.952	0.956	0.961	0.984	1

表4 相関行列の固有値，寄与率，累積寄与率（USD）全期間

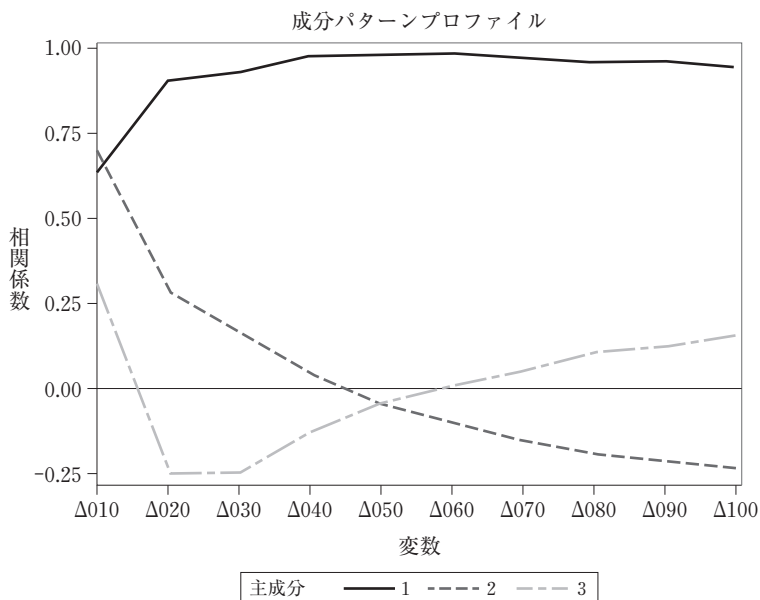
主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	8.69	7.90	86.9%	86.9%
2	0.79	0.50	7.9%	94.8%
3	0.29	0.22	2.9%	97.7%
4	0.07	0.02	0.7%	98.3%
5	0.05	0.01	0.5%	98.8%
6	0.04	0.02	0.4%	99.3%
7	0.03	0.01	0.3%	99.5%
8	0.02	0.00	0.2%	99.7%
9	0.02	0.01	0.2%	99.9%
10	0.01		0.1%	100.0%

取れる。

表4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86.9%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94.8%、第3主成分までの累積寄与率が97.7%（第4主成分以降の寄与率は1%未満）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4のスポット・レートに対する因子負荷量をみると、全体の変動の86%を占める第1主成分が（1年の因子負荷量は0.64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10%の第2主成分は4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2~3年を底にするU字形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。

図4 スポット・レートに対する因子負荷量 (USD) 全期間



### 3. 英ポンド金利スワップ市場 (GBP)

図5は、英ポンド金利スワップ市場でのスポット・レートの推移を、1年 ( $z1YR$ )、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の相関係数をみると、USD金利スワップ市場と同様の傾向が読み取れる。すなわち、1年のスポット・レートの他の年限のスポット・レートとの相関係数が若干低いようにもみえるが、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。

図5 スポット・レートの推移（GBP）全期間

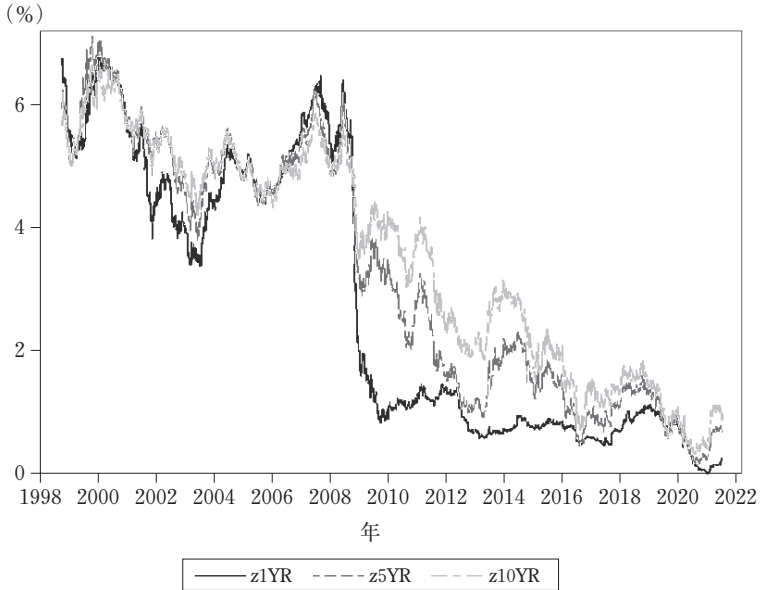


表5 スポット・レートの変化幅の相関行列（GBP）全期間

	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
1年	1	0.802	0.741	0.669	0.622	0.586	0.550	0.513	0.486	0.456
2年	0.802	1	0.943	0.865	0.827	0.790	0.753	0.710	0.678	0.658
3年	0.741	0.943	1	0.908	0.880	0.850	0.822	0.781	0.750	0.731
4年	0.669	0.865	0.908	1	0.948	0.933	0.901	0.861	0.830	0.815
5年	0.622	0.827	0.880	0.948	1	0.956	0.943	0.910	0.885	0.878
6年	0.586	0.790	0.850	0.933	0.956	1	0.967	0.942	0.921	0.918
7年	0.550	0.753	0.822	0.901	0.943	0.967	1	0.965	0.951	0.951
8年	0.513	0.710	0.781	0.861	0.910	0.942	0.965	1	0.982	0.949
9年	0.486	0.678	0.750	0.830	0.885	0.921	0.951	0.982	1	0.953
10年	0.456	0.658	0.731	0.815	0.878	0.918	0.951	0.949	0.953	1

表6 相関行列の固有値, 寄与率, 累積寄与率 (GBP) 全期間

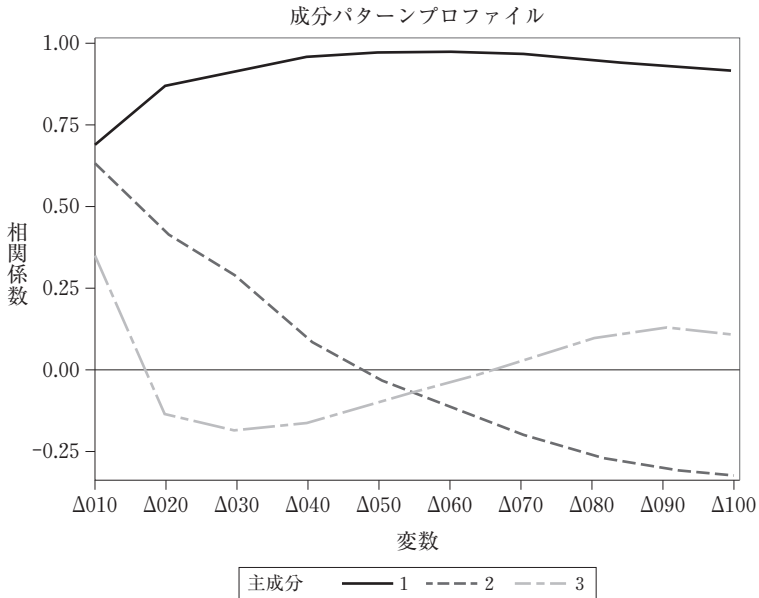
主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	8.41	7.42	84.1%	84.1%
2	0.99	0.74	9.9%	94.0%
3	0.25	0.13	2.5%	96.5%
4	0.12	0.06	1.2%	97.8%
5	0.06	0.01	0.6%	98.4%
6	0.05	0.00	0.5%	98.8%
7	0.04	0.01	0.4%	99.2%
8	0.04	0.01	0.4%	99.6%
9	0.02	0.01	0.3%	99.9%
10	0.01		0.2%	100.0%

表6に示されているように、GBPの場合もUSD同様、第1主成分の寄与率が84.1%、第2主成分までの累積寄与率が94.0%、第3主成分までの累積寄与率が96.5%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（変化率をリスク・ファクターとする分析に比べ説明力が低下している）。

図6のスポット・レートに対する因子負荷量をみると、英ポンド金利スワップ市場の変動要因は、米ドルのものと非常に似ていることがわかる。全体の変動の88%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9.9%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2%の第3主成分は3年を底にするU字形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<sup>5)</sup>。



図6 スポット・レートに対する因子負荷量（GBP）全期間



#### 4. スイスフラン金利スワップ市場（CHF）

図7は、スイスフラン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、1年（z1YR）、5年（z5YR）、10年（z10YR）の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7の相関係数をみると、他通貨の金利スワップ市場と同様の傾向が読み取れる。すなわち、1年のスポット・レートの他の年限のスポット・レートとの相関係数が若干低いようにもみえるが、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

- 5) 6か月物スポット・レートの動きと第3主成分が説明するものに関しては、前述のUSDの場合と同じことがいえる。

図7 スポット・レートの推移 (CHF) 全期間

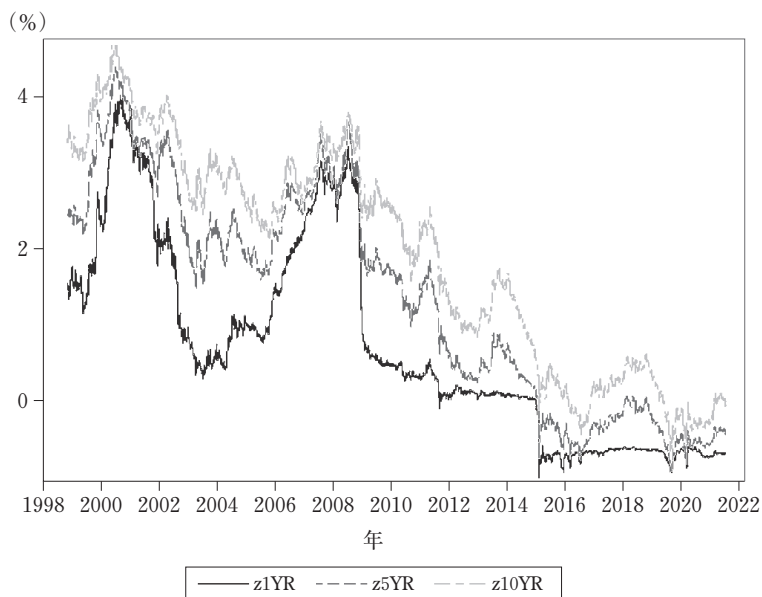


表7 スポット・レートの変化幅の相関行列 (CHF) 全期間

	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
1年	1	0.671	0.644	0.599	0.554	0.521	0.490	0.469	0.440	0.419
2年	0.671	1	0.960	0.915	0.858	0.805	0.782	0.740	0.719	0.692
3年	0.644	0.960	1	0.966	0.922	0.875	0.860	0.819	0.803	0.777
4年	0.599	0.915	0.966	1	0.964	0.927	0.922	0.883	0.872	0.849
5年	0.554	0.858	0.922	0.964	1	0.944	0.947	0.915	0.911	0.890
6年	0.521	0.805	0.875	0.927	0.944	1	0.956	0.955	0.925	0.904
7年	0.490	0.782	0.860	0.922	0.947	0.956	1	0.959	0.968	0.949
8年	0.469	0.740	0.819	0.883	0.915	0.955	0.959	1	0.959	0.946
9年	0.440	0.719	0.803	0.872	0.911	0.925	0.968	0.959	1	0.974
10年	0.419	0.692	0.777	0.849	0.890	0.904	0.949	0.946	0.974	1

が小さくなる傾向がはっきりと読み取れる。

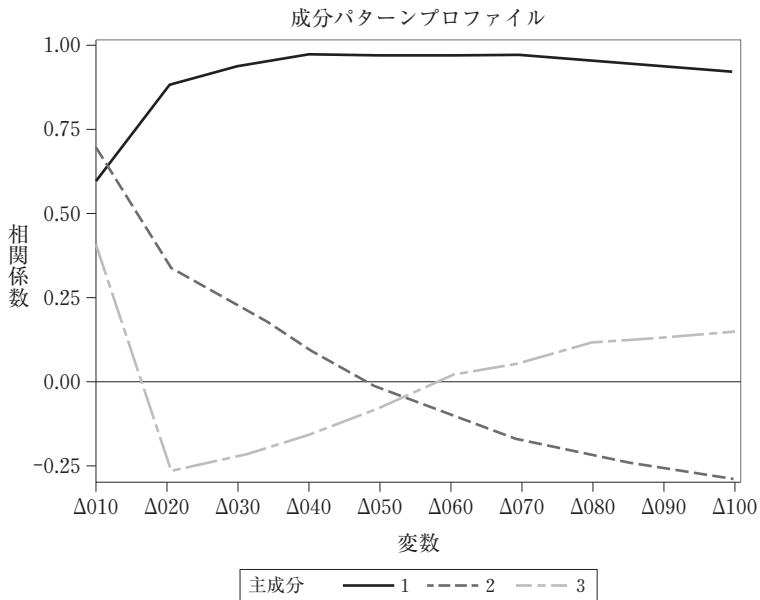
表8に示されているように、CHFの場合もUSD、GBP同様の状況である。第1主成分の寄与率が84.6%、第2主成分までの累積寄与率が93.7%、第3主成分までの累積寄与率が97.2%と3つの主成分でイールド・カーブの変動パターンのほぼすべてを説明できていると考えられる。（変化率をリスク・ファクターとする分析に比べ大幅に説明力が上昇している。）第1主成分から第3主成分まででは、累積寄与率がわずか41%と、全体の変動の4割程度しか説明できておらず、第5主成分まで固有値が1を超えている。しかも第6主成分までの累積寄与率も80%を超えることがない。この期間を全体としてみると、スイスフランの金利スワップ市場では多くの変動要因がイールド・カーブに影響を与えていたと考えることができよう。

図8でスポット・レートの変化幅に対する因子負荷量をみると、全体の変動の84.6%を占める第1主成分が（1年の因子負荷量は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10%の第2主成分は

表8 相関行列の固有値，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	8.46	7.56	84.6%	84.6%
2	0.90	0.55	9.0%	93.7%
3	0.35	0.26	3.5%	97.2%
4	0.09	0.03	0.9%	98.1%
5	0.06	0.03	0.6%	98.7%
6	0.03	0.00	0.3%	99.0%
7	0.03	0.00	0.3%	99.3%
8	0.03	0.01	0.3%	99.6%
9	0.02	0.00	0.2%	99.8%
10	0.02		0.2%	100.0%

図8 スポット・レートに対する因子負荷量 (CHF) 全期間



4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2年を底にするV字形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。

## 5. 各通貨の金利スワップ市場の比較

表9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与率を通貨ごとにまとめたものである。上段の変化幅の数字がここまでの分析で示したもので、下段の(参考)変化率の数字は、高橋(2019b)(2019c)

表9 第3主成分までの累積寄与率の比較 全期間

	JPY	USD	GBP	CHF
変化幅	96.1%	97.7%	96.5%	97.2%
(参考) 変化率	38.3%	98.5%	98.3%	41.9%

の日次のスポット・レート変化率に対する主成分分析を行う手法を今回の分析期間に合わせて行った結果から第3主成分までの累積寄与率だけを示したものである。

USD, GBPについては、日次のスポット・レート変化率での分析の方が説明力は高いが、JPY, CHFについては、今回採用した日次のスポット・レート変化幅に対して主成分分析を行うことでイールド・カーブの動きを集約する方が圧倒的に説明力が高く、より動きを集約することができることが明らかにされた。

#### 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。
- 秋森弘 (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。
- 秋森弘 (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. *Journal of Fixed Income*, 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.
- Feng, T. G. Z. (2003) On the Variation Model of Zero Coupon Yield Curve and Portfolio Investment in China (J). *Journal of Finance*, 11.

- 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 multi-factor 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』 Discussion Paper Series 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" *The Financial Review* Volume 18, No. 4.
- 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 June* Vol. 1 No. 1, 1991 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. (2005) Macro factors in bond risk premia (No. w11703). *National Bureau of Economic Research*.
- 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. *The 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.
- Soderlind, Paul, & Lars E. O. Svensson (1997) "New Techniques to Extract Market Expectations from Financial Instruments", *Journal of Monetary Economics*, Vol. 40, Issue 2, 1997, 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).
- Stock, J. H., & Watson, M. W. (1999) Forecasting inflation. *Journal of Monetary Economics*, 44 (2), pp. 293-335.
- Stock, J. H., & Watson, M. W. (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 of 測定 (1)」『商学論纂』第59巻第1・2号, 169-200頁。
- (2018a) 「本邦のイールド・カーブ変動パターン of 測定 (2) — Were the Curves “Kinky”? —」『商学論纂』第59巻第3・4号 (林田博光教授古稀記念論文集), 435-499頁。
- (2018b) 「本邦のイールド・カーブ変動パターン of 測定 (3)」『商学論纂』第59巻第5・6号 (矢内一好教授古稀記念論文集), 407-477頁。
- (2019a) 「イールド・カーブ変動パターン of 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 of 測定 (1) — 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 —」『商学論纂』61巻1・2号。
- (2019c) 「イールド・カーブ変動パターン of 測定 (2) — 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 —」『商学論纂』61巻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』8。
- 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 (特集 債券分析の新展開)」『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。
- 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.