

日本国債市場のイールド・ カーブ変動の測定(3)

——スポット・レート変化幅の主成分分析による長期
および超長期国債流通市場での変動分析——

高 橋 豊 治

目 次

- I. はじめに
- II. 日本国債流通市場でのイールド・カーブ変動分析：変化率と変化幅
との主成分分析の比較
- III. 世界金融危機前後の比較
- IV. 金融政策の影響
 - 1. 量的緩和政策終了期
 - 2. 包括的金融緩和政策期
 - 3. 質的量的緩和期（QQE1）
 - 4. 質的量的緩和期（QQE2）
 - 5. マイナス金利政策期
 - 6. 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、高橋（2022a）（2022b）での長期国債流通市場、20年物超長期国債でのイールド・カーブの分析対象を拡大し、長期国債流通市場、20年物、30年物、40年物の超長期国債の流通市場全体で構築されるイールド・カーブの動きを計測する試みである。具体的には、日本証券業協会の公表する「公社債店頭売買参考統計値」の「銘柄種別」が02の債券のうち、「分類」

が67の長期国債、69の（20年物）超長期国債、68の30年物超長期国債（超長期国債（30））、54の40年物超長期国債（超長期国債（40））を対象に、これらすべてをひとつの流通市場と考えて構築されるイールド・カーブを月次で計測し、対前月比の変化幅であらわされるスポット・レート変動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¹⁾。

高橋（2019）では、金利スワップ市場のイールド・カーブとともに、長期国債、超長期国債のイールド・カーブの動きを分析した。世界金融危機以前の期間については、第3主成分までの累積寄与率からイールド・カーブの動きは概ね3つの要因に影響を受けていること、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主成分がイールド・カーブの形状の変動要因と考えることができる。多少の違いはあるものの、金利スワップ市場でも、国債流通市場でも、この傾向は概ね共通していた。また、これは多くの先行研究の結論と共通しているものであった。しかし、世界金融危機後においては、円やスイスフランの金利市場、すなわち、長期国債、超長期国債、JPY金利スワップ、CHF金利スワップなどの市場においては、3つの主成分の説明力が低下しており、変動要因のイールド・カーブへの影響がはっきりしなくなっている。特にJPYとCHF金利スワップ

1) 本稿での分析対象は期間が10年の長期国債流通市場、20年、30年、40年の超長期国債流通市場でのイールド・カーブの動きである。なお、本稿でもこれまでの高橋（2022a）（2022b）などと同様、〇〇年物国債という呼称は、流通時点での残存が〇〇年という意味ではなく、発行時点の償還期間〇〇年のものとして用いている。例えば、20年物超長期国債という呼称は、本稿での分析データとして利用した日本証券業協会の公表する「公社債店頭売買参考統計値」では、「超長期国債」、30年物超長期国債、40年物超長期国債はそれぞれ「超長期国債（30）」、「超長期国債（40）」と表記されているものに対応している。

プ市場で顕著であった。この影響もあって、全体の期間での変動もはつきりしない。一方、USD や GBP 金利スワップ市場ではそのような傾向がみられず、世界金融危機前・後あるいは、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 JPY や CHF 金利スワップ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。

この点に関して高橋(2021a)(2021b)(2022a)(2022b)およびTakahashi(2022)では、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ならびに長期国債流通市場に関しては、スポット・レートの変化率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。加えてこの点は、イールド・カーブの動きをスポット・レートの変化幅でとらえることで大きく改善することが示されている。

これらの点を踏まえて、本稿では、日本の長期国債および超長期国債の流通市場でのイールド・カーブの動きに関して、最新の情報に更新するとともに、スポット・レートの変化幅の主成分分析を行う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節において計測期間を拡張し、超長期国債の流通市場でのイールド・カーブ変動状況を確認したのち、月次のスポット・レート変動を変化率との対比で変化幅についても主成分分析を行いその説明力の違いや、因子負荷量を用いて主成分であらわされる各変動要因のイールド・カーブ変動への影響を確認する。次にⅢ節では世界金融危機(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Ⅳ節において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．日本国債流通市場でのイールド・カーブ変動分析： 変化率と変化幅との主成分分析の比較

日本国債流通市場でのイールド・カーブに対する主成分分析を用いた金利変動分析に関する代表的な研究は、米澤・鈴木（1997）、太田（2004）、山岸・本廣（2010）、草場（2010）、高橋ほか（2010）、秋森（2012）（2013）（2018）、高橋（2019）（2022a）（2022b）などがある。

米澤・鈴木（1997）は1987年1月から1994年12月まで、山岸・本廣（2010）は1996年1月から2010年1月まで、草場（2010）は1999年9月から2010年5月まで、秋森（2018）は1998年12月から2012年8月まで、秋森（2018）は2004年4月から2018年7月まで、高橋（2019）は2002年8月から2017年7月20日、高橋（2022a）は2002年8月から2021年12月、高橋（2022b）2006年3月から2021年12月までの、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。これに対して高橋ほか（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。

本稿では、高橋（2019）（2022b）での超長期国債流通市場の分析について、分析対象を30年物、40年物ならびに長期国債にもひろげるとともに、計測期間に直近のデータも加え、長期国債および超長期国債流通市場におけるイールド・カーブ変動の状況を確認することにする。分析は日本証券業協会が2002年8月より公表している「公社債店頭売買参考統計値」を用い、毎月20日を公表日とする（10年物）長期国債および（20年物、30年物、40年物）超長期国債の平均値単価を利用し、2007年11月6日の40年物国債の初めての入札以降の期間である2007年11月から2022年6月までの期間を対象の月次データにより行った。なお、20日が休日の場合、翌公表日のデータを利用している。

まずは、長期国債ならびに超長期国債流通市場についてイールド・カー

ブを構築し²⁾, 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40年までの1年刻みのスポット・レートの変動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,

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

2) イールド・カーブ構築にあたっては, 高橋ほか(2010), 高橋(2017a)(2019)(2022a)(2022b)などと同様, ディスカウント・ファンクションとして基準日のディスカウント・ファクターに1という制約を課した3次の自然スプライン関数を想定して推計している。具体的な手法については, 高橋(2006), 高橋(2017a)を参照のこと。こうして構築された1年から40年までのスポット・レートを1年刻み(1年, 2年, 3年, …, 38年, 39年, 40年)で分析対象にし, これらの変動に関して検討を加えた。

について $a_{j,k} = \sqrt{\lambda_k} \cdot w_{j,k}$ を求める。各図において、主成分 1, 2, 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。

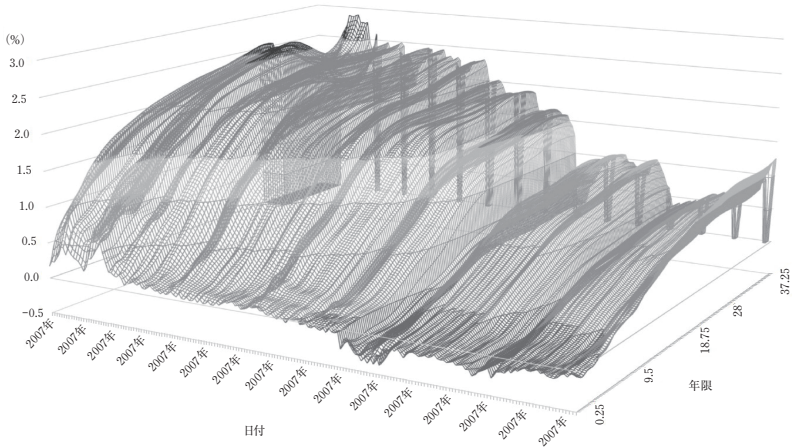
ヘッジ・ツールの集約化のため、リスク・ファクターとしての金利変動の確率分布として正規分布を視野に入れて、 t 時点の j 年スポット・レート $r_{j,t}$ の変化率 $\tilde{x}_{j,t} = \frac{dr_{j,t}}{r_{j,t}}$ をリスク・ファクターとして想定している場合、 $\tilde{x}_{j,t}$ に対する主成分分析を行うことでイールド・カーブの変動要因の比較を試みる事が多く行われている。しかしながら、世界金融危機（いわゆる「リーマン・ショック」）以降の JPY および CHF の金利スワップ市場、ならびに超長期国債流通市場に関しては、スポット・レー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示されている³⁾。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（スポット・レートの変化幅は 1 年から順に 1 年刻みで 40 年までを、 $\Delta 010$, $\Delta 020$, ..., $\Delta 390$, $\Delta 400$ という記号であらわしている。）。

図 1 は、分析対象期間の超長期国債流通市場でのスポット・イールド・カーブ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、2007 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。全体としてイールド・カーブのフラット化の下での金利の低下局面にあったとみることもできるものの、（フラット化と低下の程度に比べれば小さいものの）スティーブ化を伴う金利の上昇局面の期間も含んでおり、イ

3) 高橋 (2021a) (2021b) (2022), Takahashi (2022) を参照。

図1 スポット・イールド・カーブの推移(2007年11月～2022年6月)



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 of 月次の変化幅 $\Delta r_{j,t}$ を変動要因として主成分分析を行うが、同じ計測期間でのスポット・レート変化率 $\frac{\Delta r_{j,t}}{r_{j,t}}$ に対する主成分分析の結果も比較しておこう。

期間の近いスポット・レートの相関係数は高く、離れるほど小さくなる傾向にあることが予想されるが、表1のスポット・レートの変化幅に関する相関係数をみると、必ずしもそうではないことがわかる。例えば、1年と2年の相関係数は0.858だが、2年と3年は0.967、さらには3年と4年スポット・レートの相関係数は0.963とより高くなっている。金利スワップ市場でみられた1年のスポット・レートと他の年限の相関係数が2年以上のスポット・レート相互の相関係数より低いという傾向は、ここでも、ある程度観察された。さらには、中・長期のスポット・レート相互の相関係数が高いのが特徴的である。5年と10年では0.895と隣り合わせの1年

表1 スポット・レートの変化幅の相関係数 全期間

	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年	11年	12年	13年	14年	15年	17年	18年	19年
1年	1	0.858	0.800	0.735	0.713	0.649	0.591	0.563	0.538	0.506	0.473	0.443	0.419	0.397	0.374	0.352	0.311	0.291
2年	0.858	1	0.867	0.832	0.904	0.856	0.808	0.779	0.747	0.705	0.666	0.633	0.600	0.565	0.529	0.494	0.430	0.401
3年	0.800	0.867	1	0.963	0.936	0.885	0.833	0.802	0.768	0.726	0.687	0.656	0.627	0.596	0.563	0.530	0.498	0.466
4年	0.735	0.932	0.963	1	0.984	0.961	0.929	0.902	0.865	0.816	0.776	0.745	0.714	0.680	0.642	0.603	0.565	0.528
5年	0.713	0.904	0.936	0.984	1	0.983	0.949	0.926	0.895	0.851	0.812	0.780	0.749	0.716	0.678	0.638	0.598	0.552
6年	0.649	0.856	0.885	0.961	0.983	1	0.989	0.973	0.942	0.895	0.856	0.825	0.794	0.758	0.718	0.676	0.633	0.592
7年	0.591	0.808	0.833	0.929	0.949	0.989	1	0.993	0.966	0.922	0.886	0.857	0.827	0.791	0.750	0.708	0.665	0.624
8年	0.563	0.779	0.802	0.902	0.926	0.973	0.993	1	0.989	0.958	0.928	0.902	0.874	0.841	0.803	0.763	0.722	0.682
9年	0.538	0.747	0.768	0.865	0.895	0.942	0.966	0.989	1	0.990	0.970	0.948	0.925	0.897	0.864	0.828	0.791	0.753
10年	0.506	0.705	0.726	0.816	0.851	0.895	0.922	0.958	0.990	1	0.993	0.975	0.962	0.940	0.912	0.881	0.849	0.814
11年	0.473	0.666	0.687	0.776	0.812	0.856	0.886	0.928	0.970	0.993	1	0.995	0.985	0.967	0.942	0.914	0.885	0.854
12年	0.443	0.633	0.656	0.745	0.780	0.825	0.857	0.902	0.948	0.979	0.995	1	0.996	0.983	0.962	0.938	0.912	0.884
13年	0.419	0.600	0.627	0.714	0.749	0.794	0.827	0.874	0.925	0.962	0.985	0.996	1	0.995	0.981	0.963	0.941	0.916
14年	0.397	0.565	0.596	0.680	0.716	0.758	0.791	0.841	0.897	0.940	0.967	0.983	0.995	1	0.995	0.984	0.967	0.945
15年	0.374	0.529	0.563	0.642	0.678	0.718	0.750	0.803	0.864	0.912	0.942	0.962	0.981	0.995	1	0.996	0.985	0.968
16年	0.352	0.494	0.530	0.603	0.638	0.676	0.708	0.763	0.828	0.881	0.912	0.938	0.963	0.984	0.996	1	0.996	0.986
17年	0.331	0.461	0.498	0.565	0.598	0.633	0.665	0.722	0.791	0.849	0.885	0.912	0.941	0.967	0.985	0.996	1	0.996
18年	0.311	0.430	0.466	0.528	0.559	0.592	0.624	0.682	0.753	0.814	0.854	0.884	0.916	0.945	0.968	0.986	0.996	1
19年	0.291	0.401	0.437	0.493	0.522	0.553	0.584	0.642	0.715	0.779	0.823	0.855	0.889	0.920	0.947	0.970	0.987	0.997
20年	0.275	0.378	0.413	0.465	0.492	0.520	0.550	0.609	0.681	0.747	0.793	0.827	0.863	0.896	0.926	0.952	0.974	0.990
21年	0.261	0.359	0.394	0.443	0.469	0.495	0.524	0.581	0.654	0.721	0.769	0.805	0.841	0.876	0.907	0.936	0.961	0.980
22年	0.251	0.344	0.379	0.426	0.450	0.475	0.503	0.559	0.631	0.698	0.747	0.784	0.822	0.858	0.890	0.921	0.948	0.970
23年	0.240	0.331	0.365	0.412	0.435	0.458	0.484	0.539	0.610	0.677	0.727	0.766	0.804	0.841	0.874	0.906	0.934	0.957
24年	0.233	0.321	0.356	0.401	0.423	0.445	0.469	0.523	0.593	0.660	0.710	0.750	0.789	0.826	0.860	0.892	0.922	0.946
25年	0.225	0.310	0.346	0.390	0.411	0.430	0.454	0.506	0.576	0.642	0.693	0.734	0.774	0.811	0.846	0.879	0.909	0.935
26年	0.218	0.300	0.336	0.378	0.398	0.416	0.438	0.490	0.560	0.627	0.679	0.720	0.760	0.798	0.833	0.867	0.899	0.926
27年	0.212	0.291	0.326	0.367	0.387	0.403	0.424	0.475	0.545	0.613	0.665	0.707	0.747	0.785	0.821	0.857	0.890	0.919
28年	0.207	0.283	0.322	0.359	0.378	0.393	0.413	0.464	0.533	0.601	0.654	0.696	0.737	0.775	0.811	0.848	0.882	0.912
29年	0.207	0.280	0.320	0.355	0.374	0.388	0.407	0.457	0.526	0.594	0.647	0.689	0.729	0.768	0.805	0.842	0.877	0.908
30年	0.210	0.280	0.322	0.355	0.376	0.390	0.408	0.457	0.524	0.591	0.643	0.685	0.726	0.765	0.803	0.840	0.875	0.905
31年	0.216	0.284	0.327	0.360	0.383	0.397	0.415	0.462	0.527	0.591	0.642	0.684	0.725	0.763	0.802	0.839	0.873	0.903
32年	0.223	0.289	0.333	0.367	0.392	0.407	0.424	0.468	0.530	0.591	0.640	0.682	0.723	0.763	0.800	0.835	0.868	0.896
33年	0.230	0.293	0.337	0.371	0.398	0.414	0.430	0.472	0.530	0.588	0.635	0.675	0.717	0.757	0.793	0.827	0.857	0.883
34年	0.232	0.293	0.337	0.371	0.400	0.417	0.432	0.471	0.527	0.581	0.627	0.666	0.707	0.747	0.782	0.815	0.844	0.867
35年	0.232	0.290	0.334	0.368	0.398	0.415	0.430	0.468	0.522	0.574	0.618	0.657	0.698	0.737	0.772	0.804	0.831	0.853
36年	0.230	0.287	0.330	0.364	0.393	0.411	0.426	0.464	0.516	0.568	0.611	0.650	0.691	0.730	0.765	0.796	0.822	0.844
37年	0.226	0.282	0.325	0.358	0.386	0.404	0.419	0.458	0.512	0.565	0.610	0.649	0.689	0.728	0.763	0.795	0.822	0.844
38年	0.216	0.274	0.316	0.348	0.373	0.390	0.407	0.449	0.507	0.564	0.611	0.651	0.691	0.731	0.766	0.799	0.828	0.852
39年	0.197	0.254	0.295	0.324	0.342	0.358	0.377	0.424	0.489	0.553	0.604	0.645	0.686	0.725	0.762	0.797	0.829	0.858
40年	0.148	0.205	0.243	0.264	0.270	0.281	0.304	0.357	0.431	0.503	0.558	0.599	0.638	0.674	0.711	0.748	0.786	0.819

20年	21年	22年	23年	24年	25年	26年	27年	28年	29年	30年	31年	32年	33年	34年	35年	36年	37年	38年	39年	40年
0.275	0.261	0.251	0.240	0.233	0.225	0.218	0.212	0.207	0.207	0.210	0.216	0.223	0.230	0.232	0.232	0.230	0.226	0.217	0.196	0.148
0.378	0.359	0.344	0.331	0.321	0.310	0.300	0.291	0.283	0.280	0.280	0.284	0.289	0.293	0.293	0.290	0.287	0.282	0.274	0.254	0.205
0.413	0.394	0.379	0.365	0.356	0.346	0.336	0.329	0.322	0.320	0.322	0.327	0.332	0.337	0.337	0.334	0.330	0.325	0.316	0.293	0.243
0.465	0.443	0.426	0.412	0.401	0.389	0.378	0.367	0.359	0.355	0.355	0.360	0.367	0.371	0.371	0.368	0.364	0.358	0.348	0.324	0.264
0.492	0.469	0.450	0.435	0.423	0.411	0.398	0.387	0.378	0.374	0.376	0.383	0.392	0.398	0.400	0.398	0.393	0.386	0.373	0.342	0.270
0.520	0.495	0.475	0.458	0.445	0.430	0.416	0.403	0.393	0.388	0.390	0.397	0.407	0.414	0.417	0.415	0.411	0.404	0.390	0.358	0.281
0.550	0.524	0.503	0.484	0.469	0.454	0.438	0.424	0.413	0.407	0.408	0.415	0.424	0.430	0.432	0.430	0.426	0.419	0.407	0.377	0.304
0.609	0.581	0.559	0.539	0.523	0.506	0.490	0.475	0.464	0.457	0.457	0.462	0.468	0.472	0.471	0.468	0.464	0.458	0.449	0.424	0.357
0.681	0.654	0.631	0.610	0.593	0.576	0.560	0.545	0.533	0.526	0.524	0.527	0.530	0.530	0.527	0.522	0.516	0.512	0.507	0.489	0.431
0.747	0.721	0.698	0.677	0.660	0.642	0.627	0.613	0.601	0.594	0.591	0.591	0.591	0.588	0.581	0.574	0.568	0.565	0.564	0.553	0.503
0.793	0.769	0.747	0.727	0.710	0.693	0.679	0.665	0.651	0.644	0.643	0.642	0.640	0.635	0.627	0.618	0.611	0.610	0.611	0.604	0.558
0.827	0.805	0.784	0.766	0.750	0.734	0.720	0.707	0.696	0.689	0.685	0.684	0.682	0.675	0.666	0.657	0.650	0.649	0.651	0.645	0.599
0.863	0.841	0.822	0.804	0.789	0.774	0.760	0.747	0.737	0.729	0.726	0.725	0.723	0.717	0.707	0.698	0.691	0.689	0.691	0.686	0.638
0.896	0.876	0.858	0.841	0.826	0.811	0.798	0.785	0.775	0.768	0.765	0.765	0.763	0.757	0.747	0.737	0.730	0.728	0.731	0.725	0.674
0.926	0.907	0.890	0.874	0.860	0.846	0.833	0.821	0.811	0.805	0.803	0.802	0.800	0.793	0.782	0.772	0.765	0.763	0.766	0.762	0.711
0.952	0.936	0.921	0.906	0.892	0.879	0.867	0.857	0.848	0.842	0.840	0.839	0.835	0.827	0.815	0.804	0.796	0.795	0.799	0.797	0.748
0.974	0.961	0.948	0.934	0.922	0.909	0.899	0.890	0.882	0.877	0.875	0.873	0.868	0.857	0.844	0.831	0.822	0.822	0.828	0.829	0.786
0.990	0.980	0.970	0.957	0.946	0.935	0.926	0.919	0.912	0.908	0.905	0.903	0.896	0.883	0.867	0.853	0.844	0.844	0.852	0.858	0.819
0.998	0.992	0.984	0.974	0.964	0.955	0.948	0.942	0.936	0.932	0.930	0.926	0.917	0.903	0.886	0.871	0.861	0.862	0.872	0.881	0.848
1	0.998	0.993	0.986	0.978	0.970	0.964	0.959	0.955	0.951	0.949	0.944	0.934	0.919	0.901	0.885	0.876	0.877	0.888	0.900	0.870
0.998	1	0.998	0.994	0.988	0.982	0.978	0.973	0.969	0.965	0.963	0.958	0.948	0.933	0.914	0.899	0.889	0.891	0.903	0.916	0.888
0.993	0.998	1	0.999	0.995	0.991	0.987	0.983	0.979	0.976	0.973	0.968	0.959	0.943	0.925	0.910	0.900	0.902	0.915	0.929	0.901
0.986	0.994	0.999	1	0.999	0.997	0.994	0.990	0.987	0.983	0.980	0.976	0.966	0.951	0.933	0.918	0.909	0.912	0.925	0.939	0.911
0.978	0.988	0.995	0.999	1	0.999	0.997	0.994	0.991	0.987	0.984	0.980	0.970	0.956	0.938	0.923	0.915	0.917	0.931	0.946	0.919
0.970	0.982	0.991	0.997	0.999	1	0.999	0.997	0.994	0.991	0.988	0.984	0.973	0.958	0.940	0.924	0.916	0.919	0.934	0.951	0.927
0.964	0.978	0.987	0.994	0.997	0.999	1	0.999	0.997	0.995	0.992	0.986	0.975	0.958	0.939	0.923	0.914	0.918	0.935	0.954	0.935
0.959	0.973	0.983	0.990	0.994	0.997	0.999	1	0.999	0.998	0.995	0.989	0.977	0.959	0.938	0.921	0.913	0.917	0.934	0.956	0.941
0.955	0.969	0.979	0.987	0.991	0.994	0.997	0.999	1	0.999	0.997	0.991	0.979	0.960	0.939	0.922	0.913	0.917	0.935	0.959	0.946
0.951	0.965	0.973	0.983	0.987	0.991	0.995	0.998	0.999	1	0.999	0.994	0.982	0.965	0.944	0.927	0.918	0.922	0.939	0.962	0.947
0.949	0.963	0.976	0.980	0.984	0.988	0.992	0.995	0.997	0.999	1	0.998	0.989	0.974	0.956	0.940	0.932	0.935	0.950	0.968	0.944
0.944	0.958	0.968	0.976	0.980	0.984	0.988	0.991	0.994	0.998	1	0.997	0.987	0.973	0.960	0.953	0.955	0.966	0.974	0.994	0.934
0.934	0.948	0.959	0.966	0.970	0.973	0.975	0.977	0.979	0.982	0.989	0.997	1	0.997	0.989	0.980	0.974	0.975	0.980	0.977	0.916
0.919	0.933	0.943	0.951	0.956	0.958	0.958	0.959	0.960	0.965	0.974	0.987	0.997	1	0.998	0.993	0.989	0.988	0.989	0.974	0.894
0.901	0.914	0.925	0.933	0.938	0.940	0.939	0.938	0.938	0.944	0.956	0.973	0.989	0.998	1	0.999	0.997	0.996	0.992	0.968	0.872
0.885	0.899	0.910	0.918	0.923	0.924	0.923	0.921	0.922	0.927	0.944	0.960	0.980	0.993	0.999	1	0.999	0.998	0.992	0.962	0.856
0.876	0.889	0.900	0.909	0.915	0.916	0.914	0.913	0.913	0.918	0.932	0.953	0.974	0.988	0.997	0.999	1	0.999	0.993	0.962	0.853
0.877	0.891	0.902	0.912	0.917	0.919	0.918	0.917	0.917	0.922	0.935	0.955	0.975	0.988	0.996	0.998	0.999	1	0.997	0.997	0.869
0.888	0.903	0.915	0.925	0.931	0.934	0.935	0.934	0.935	0.939	0.950	0.966	0.980	0.989	0.992	0.992	0.993	0.997	1	0.987	0.906
0.900	0.916	0.929	0.939	0.946	0.951	0.954	0.956	0.959	0.962	0.968	0.974	0.977	0.974	0.968	0.962	0.962	0.971	0.987	1	0.962
0.870	0.888	0.901	0.911	0.919	0.927	0.935	0.941	0.946	0.947	0.944	0.934	0.916	0.894	0.872	0.856	0.853	0.869	0.906	0.962	1

と2年よりも相関係数が高い。

表2にあるスポット・レート変化率の相関係数をみると、表1と比べ明らかに小さな値である。2年と3年や4年、5年、6年の相互の相関係数こそは高いが（それぞれ、2年と3年が0.798、4年と5年が0.993、4年と6年が0.917、5年と6年が0.951）、そのほかの年限に関しては、かなり小さな数字であるばかりか、いくつかの係数はマイナスの大きな値をとっている。

計測期間全体についてスポット・レートの変化幅での動きを確認しよう。表3は相関係数の固有値、寄与率、累積寄与率を示したものである。本稿では紙幅の都合で累積寄与率が100%となるまでの記録にとどめている（以下も同様）。この表をみると、第1主成分の説明力（寄与率）が75.9%と、第1主成分によってイールド・カーブの動きのかんりの部分を説明できている。さらに第3主成分までの説明力（累積寄与率）も96.5%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。

これに対して、表4の変化率での固有値をみると、第1主成分の説明力（寄与率）が59.9%と、変化率を変動要因として考えた場合、第1主成分の説明力が大幅に低下している。さらに第3主成分までの説明力（累積寄与率）をみても74.7%と、相関係数の状況からある程度予想できることであるが、3つの主成分の説明力は大幅に低下している。

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。横軸はスポット・レートの年限で、縦軸は相関係数である。図2をみると、第1主成分の因子負荷量は1年で0.39と短い年限での影響は小さいが、13年から39年の間では0.90以上と同程度の影響を与えている。10年までの年限への影響は少し小さいが、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。

寄与率17.0%の第2主成分は17年あたりを中心に短い期間に対して短いはど大きくプラスの影響を、長い期間に対して長いほど大きなマイナス

表2 スポット・レートの変化率の相関係数 全期間

	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年	11年	12年	13年	14年	15年	16年	17年	18年	19年
1年	1	0.329	0.187	-0.043	-0.032	-0.018	0.003	0.005	0.009	0.006	0.011	0.033	0.026	0.044	0.019	0.016	0.064	0.084	0.094
2年	0.329	1	0.798	-0.861	-0.830	-0.715	-0.209	-0.072	-0.001	-0.070	0.026	-0.085	0.028	-0.037	-0.055	-0.037	0.064	0.084	-0.122
3年	0.187	0.798	1	-0.834	-0.811	-0.715	-0.189	-0.072	-0.015	-0.072	0.007	-0.066	-0.001	-0.058	-0.047	-0.025	-0.098	-0.121	-0.127
4年	-0.043	-0.861	-0.834	1	0.993	0.917	0.141	0.077	0.033	0.059	0.007	0.032	0.035	0.055	0.022	0.004	0.059	0.082	0.089
5年	-0.032	-0.830	-0.811	0.993	1	0.951	0.076	0.075	0.028	0.041	0.005	0.025	0.043	0.045	0.009	-0.004	0.035	0.053	0.059
6年	-0.018	-0.715	-0.715	0.917	0.951	1	-0.118	0.065	0.014	-0.002	0.002	-0.025	0.042	0.002	-0.020	-0.015	-0.027	-0.033	-0.030
7年	0.003	-0.209	-0.189	0.141	0.076	-0.118	1	0.114	0.017	0.036	0.003	0.011	0.022	0.044	0.025	-0.008	0.065	0.103	0.124
8年	0.005	-0.072	-0.072	0.077	0.075	0.065	0.114	1	-0.025	-0.060	-0.005	-0.050	0.012	-0.044	-0.037	-0.016	-0.066	-0.080	-0.081
9年	0.009	-0.001	-0.015	0.033	0.028	0.014	0.017	-0.025	1	0.010	-0.003	-0.001	0.012	0.015	0.006	-0.007	0.019	0.033	0.038
10年	0.006	-0.070	-0.072	0.059	0.041	-0.002	0.036	-0.060	0.010	1	-0.065	-0.043	0.068	0.022	-0.021	-0.035	0.041	0.115	0.171
11年	0.011	0.026	0.006	0.007	0.005	0.002	0.003	-0.005	0.003	-0.065	1	0.130	0.024	0.085	0.043	0.003	0.070	0.080	0.071
12年	0.033	-0.085	-0.066	0.032	0.012	-0.025	0.011	-0.050	0.001	-0.043	0.130	1	0.169	0.027	-0.084	-0.092	-0.105	-0.106	-0.118
13年	0.026	0.028	-0.001	0.043	0.042	0.022	0.011	0.012	0.002	0.068	0.24	0.169	1	-0.280	-0.136	-0.051	-0.189	-0.224	-0.234
14年	0.044	-0.037	-0.058	0.055	0.045	0.002	0.044	-0.044	0.015	0.022	0.085	0.027	-0.280	1	-0.270	-0.240	-0.011	0.131	0.205
15年	0.019	-0.055	-0.047	0.022	0.009	-0.020	0.025	-0.037	0.006	-0.021	0.043	-0.084	-0.136	-0.270	1	-0.310	0.097	0.201	0.234
16年	0.016	-0.037	-0.025	0.004	-0.004	-0.015	-0.008	-0.016	-0.007	-0.035	0.043	-0.092	-0.051	-0.240	-0.310	1	0.839	0.608	0.614
17年	0.064	-0.103	-0.098	0.059	0.035	-0.027	0.065	-0.066	0.019	0.041	0.070	-0.105	-0.189	-0.011	0.097	0.839	1	0.972	0.934
18年	0.084	-0.120	-0.121	0.082	0.053	-0.028	0.103	-0.080	0.033	0.115	0.080	-0.106	-0.224	0.131	0.201	0.698	0.972	1	0.991
19年	0.094	-0.122	-0.127	0.089	0.059	-0.030	0.124	-0.081	0.038	0.171	0.071	-0.118	-0.234	0.205	0.234	0.614	0.934	0.991	1
20年	0.097	-0.121	-0.126	0.090	0.059	-0.034	0.137	-0.079	0.039	0.206	0.059	-0.133	-0.237	0.230	0.249	0.570	0.909	0.980	0.997
21年	0.097	-0.118	-0.121	0.085	0.054	-0.040	0.145	-0.074	0.034	0.225	0.051	-0.139	-0.239	0.239	0.259	0.546	0.894	0.971	0.993
22年	0.096	-0.114	-0.116	0.080	0.048	-0.046	0.150	-0.068	0.031	0.234	0.044	-0.147	-0.239	0.240	0.267	0.530	0.883	0.964	0.989
23年	0.093	-0.110	-0.109	0.073	0.041	-0.053	0.154	-0.063	0.025	0.234	0.038	-0.152	-0.238	0.236	0.271	0.526	0.879	0.960	0.985
24年	0.090	-0.107	-0.104	0.067	0.035	-0.058	0.154	-0.059	0.022	0.232	0.032	-0.156	-0.237	0.225	0.272	0.529	0.879	0.958	0.982
25年	0.087	-0.103	-0.101	0.063	0.031	-0.061	0.155	-0.054	0.020	0.228	0.025	-0.164	-0.235	0.217	0.264	0.538	0.880	0.956	0.980
26年	0.086	-0.099	-0.098	0.061	0.029	-0.060	0.152	-0.051	0.018	0.228	0.020	-0.176	-0.230	0.215	0.254	0.544	0.880	0.954	0.977
27年	0.085	-0.095	-0.096	0.060	0.029	-0.059	0.150	-0.048	0.019	0.229	0.009	-0.190	-0.226	0.212	0.237	0.554	0.881	0.952	0.974
28年	0.086	-0.091	-0.094	0.059	0.030	-0.056	0.147	-0.045	0.020	0.231	0.001	-0.202	-0.222	0.214	0.221	0.561	0.879	0.949	0.971
29年	0.087	-0.088	-0.094	0.060	0.031	-0.053	0.145	-0.042	0.021	0.234	-0.007	-0.213	-0.217	0.214	0.211	0.563	0.876	0.944	0.967
30年	0.089	-0.086	-0.094	0.061	0.033	-0.050	0.143	-0.039	0.020	0.238	-0.014	-0.221	-0.213	0.217	0.201	0.564	0.872	0.940	0.963
31年	0.092	-0.085	-0.094	0.062	0.035	-0.047	0.143	-0.035	0.020	0.243	-0.020	-0.228	-0.211	0.223	0.197	0.557	0.865	0.935	0.959
32年	0.094	-0.085	-0.094	0.064	0.037	-0.044	0.142	-0.032	0.019	0.248	-0.024	-0.232	-0.208	0.227	0.198	0.549	0.858	0.929	0.954
33年	0.097	-0.085	-0.094	0.066	0.039	-0.042	0.143	-0.028	0.019	0.252	-0.031	-0.235	-0.208	0.230	0.201	0.538	0.850	0.923	0.949
34年	0.099	-0.086	-0.093	0.066	0.039	-0.042	0.142	-0.025	0.017	0.255	-0.033	-0.235	-0.206	0.230	0.204	0.531	0.843	0.917	0.944
35年	0.101	-0.086	-0.093	0.066	0.040	-0.040	0.141	-0.023	0.016	0.256	-0.036	-0.234	-0.209	0.229	0.205	0.528	0.840	0.914	0.941
36年	0.101	-0.087	-0.092	0.065	0.039	-0.041	0.140	-0.021	0.016	0.258	-0.038	-0.232	-0.211	0.221	0.206	0.531	0.841	0.913	0.939
37年	0.099	-0.089	-0.092	0.065	0.038	-0.042	0.138	-0.021	0.016	0.258	-0.039	-0.229	-0.214	0.221	0.205	0.540	0.847	0.916	0.941
38年	0.096	-0.090	-0.091	0.063	0.036	-0.044	0.134	-0.023	0.017	0.253	-0.039	-0.224	-0.220	0.195	0.201	0.560	0.860	0.924	0.946
39年	0.090	-0.090	-0.090	0.059	0.031	-0.048	0.129	-0.026	0.019	0.247	-0.037	-0.221	-0.227	0.169	0.193	0.589	0.876	0.933	0.950
40年	0.081	-0.088	-0.087	0.053	0.025	-0.052	0.121	-0.032	0.023	0.235	-0.035	-0.210	-0.232	0.139	0.172	0.623	0.889	0.934	0.946

2007	2011	22年	23年	24年	25年	26年	27年	28年	29年	30年	31年	32年	33年	34年	35年	36年	37年	38年	39年	40年
0.097	0.097	0.096	0.093	0.090	0.087	0.086	0.085	0.086	0.087	0.089	0.092	0.094	0.097	0.099	0.101	0.101	0.099	0.096	0.090	0.081
-0.121	-0.118	-0.114	-0.110	-0.107	-0.103	-0.099	-0.095	-0.091	-0.088	-0.086	-0.085	-0.085	-0.085	-0.086	-0.086	-0.087	-0.089	-0.090	-0.090	-0.088
-0.126	-0.121	-0.116	-0.109	-0.104	-0.101	-0.098	-0.096	-0.094	-0.094	-0.094	-0.094	-0.094	-0.094	-0.093	-0.093	-0.092	-0.092	-0.091	-0.090	-0.087
0.090	0.085	0.080	0.073	0.067	0.063	0.061	0.060	0.059	0.060	0.061	0.062	0.064	0.066	0.066	0.066	0.066	0.065	0.063	0.059	0.053
0.059	0.054	0.048	0.041	0.035	0.031	0.029	0.029	0.029	0.030	0.031	0.033	0.035	0.037	0.039	0.040	0.039	0.038	0.036	0.031	0.025
-0.034	-0.040	-0.046	-0.053	-0.058	-0.061	-0.060	-0.059	-0.056	-0.053	-0.050	-0.047	-0.044	-0.042	-0.042	-0.040	-0.041	-0.042	-0.044	-0.048	-0.052
0.137	0.145	0.150	0.154	0.154	0.155	0.152	0.150	0.147	0.145	0.143	0.143	0.142	0.143	0.142	0.141	0.140	0.138	0.134	0.129	0.121
-0.079	-0.074	-0.068	-0.063	-0.059	-0.054	-0.051	-0.048	-0.045	-0.042	-0.039	-0.035	-0.032	-0.028	-0.025	-0.023	-0.021	-0.021	-0.023	-0.026	-0.032
0.039	0.031	0.025	0.022	0.020	0.020	0.018	0.019	0.020	0.021	0.020	0.020	0.019	0.019	0.017	0.016	0.016	0.016	0.017	0.019	0.023
0.206	0.225	0.234	0.234	0.232	0.228	0.228	0.229	0.231	0.234	0.238	0.243	0.248	0.252	0.255	0.258	0.258	0.258	0.253	0.247	0.235
0.059	0.051	0.044	0.038	0.032	0.025	0.020	0.009	0.001	-0.007	-0.014	-0.020	-0.024	-0.031	-0.033	-0.036	-0.038	-0.039	-0.039	-0.037	-0.035
-0.133	-0.139	-0.147	-0.152	-0.156	-0.164	-0.176	-0.190	-0.202	-0.212	-0.213	-0.228	-0.232	-0.235	-0.235	-0.234	-0.232	-0.229	-0.224	-0.221	-0.210
-0.237	-0.239	-0.239	-0.238	-0.237	-0.235	-0.230	-0.226	-0.222	-0.217	-0.213	-0.211	-0.208	-0.208	-0.206	-0.209	-0.211	-0.214	-0.220	-0.227	-0.232
0.230	0.239	0.240	0.236	0.235	0.217	0.215	0.212	0.214	0.214	0.214	0.217	0.223	0.227	0.230	0.230	0.229	0.221	0.211	0.195	0.139
0.249	0.259	0.267	0.271	0.272	0.264	0.254	0.237	0.221	0.211	0.201	0.197	0.198	0.201	0.204	0.205	0.206	0.205	0.201	0.193	0.172
0.570	0.546	0.530	0.526	0.529	0.538	0.544	0.554	0.561	0.563	0.564	0.557	0.549	0.538	0.531	0.528	0.531	0.540	0.560	0.589	0.623
0.909	0.894	0.883	0.879	0.879	0.880	0.880	0.881	0.879	0.876	0.872	0.865	0.858	0.850	0.843	0.840	0.841	0.847	0.860	0.876	0.889
0.980	0.971	0.964	0.960	0.958	0.956	0.954	0.952	0.949	0.944	0.940	0.935	0.929	0.923	0.917	0.914	0.913	0.916	0.924	0.933	0.934
0.997	0.993	0.989	0.985	0.982	0.980	0.977	0.974	0.971	0.967	0.963	0.959	0.954	0.949	0.944	0.941	0.939	0.941	0.946	0.950	0.946
1	0.999	0.996	0.994	0.991	0.989	0.986	0.983	0.980	0.976	0.972	0.969	0.965	0.960	0.956	0.952	0.951	0.952	0.956	0.958	0.951
0.999	1	0.999	0.998	0.996	0.993	0.991	0.988	0.984	0.981	0.977	0.974	0.971	0.967	0.962	0.959	0.957	0.958	0.962	0.963	0.955
0.996	0.999	1	1.000	0.998	0.996	0.994	0.991	0.988	0.984	0.981	0.978	0.975	0.971	0.967	0.964	0.962	0.963	0.967	0.968	0.959
0.994	0.998	1.000	1	1.000	0.998	0.997	0.994	0.991	0.987	0.984	0.981	0.978	0.975	0.971	0.968	0.966	0.967	0.971	0.972	0.962
0.991	0.996	0.998	1.000	1	1.000	0.998	0.996	0.993	0.989	0.986	0.983	0.981	0.977	0.974	0.971	0.969	0.971	0.974	0.976	0.967
0.989	0.993	0.996	0.998	1.000	1	1.000	0.998	0.995	0.992	0.990	0.987	0.984	0.981	0.977	0.974	0.973	0.974	0.978	0.980	0.972
0.986	0.991	0.994	0.997	0.998	1.000	1	0.999	0.998	0.995	0.993	0.991	0.988	0.984	0.980	0.977	0.975	0.977	0.981	0.983	0.976
0.983	0.988	0.991	0.994	0.996	0.998	0.999	1	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.988	0.983	0.980	0.978	0.980	0.984	0.987	0.981
0.980	0.981	0.988	0.991	0.993	0.995	0.998	0.999	1	1.000	0.999	0.997	0.994	0.990	0.986	0.982	0.980	0.982	0.986	0.989	0.983
0.976	0.981	0.984	0.987	0.989	0.992	0.995	0.998	1.000	1	1.000	0.998	0.996	0.992	0.988	0.984	0.982	0.984	0.987	0.990	0.984
0.972	0.977	0.981	0.984	0.986	0.990	0.993	0.996	0.999	1.000	1	1.000	0.998	0.995	0.991	0.987	0.985	0.986	0.989	0.991	0.983
0.969	0.974	0.978	0.981	0.983	0.987	0.991	0.994	0.997	0.998	1.000	1	0.999	0.997	0.994	0.991	0.990	0.990	0.992	0.991	0.981
0.965	0.971	0.975	0.978	0.981	0.984	0.988	0.992	0.994	0.996	0.998	0.999	1	0.999	0.997	0.995	0.994	0.994	0.994	0.992	0.977
0.960	0.967	0.971	0.975	0.977	0.981	0.984	0.988	0.990	0.992	0.995	0.997	0.999	1	0.999	0.998	0.997	0.997	0.996	0.991	0.972
0.956	0.962	0.967	0.971	0.974	0.977	0.980	0.983	0.986	0.988	0.991	0.994	0.997	0.999	1	1.000	0.999	0.998	0.997	0.989	0.968
0.952	0.959	0.964	0.968	0.971	0.974	0.977	0.980	0.982	0.984	0.987	0.991	0.995	0.998	1.000	1	1.000	0.999	0.997	0.988	0.964
0.951	0.957	0.962	0.966	0.969	0.973	0.975	0.978	0.980	0.982	0.985	0.990	0.994	0.997	0.999	1.000	1	1.000	0.997	0.989	0.965
0.952	0.958	0.963	0.967	0.971	0.974	0.977	0.979	0.980	0.982	0.985	0.990	0.994	0.997	0.999	1.000	1	0.999	0.997	0.990	0.970
0.956	0.962	0.967	0.971	0.974	0.978	0.981	0.984	0.986	0.987	0.989	0.992	0.994	0.996	0.997	0.998	0.999	0.997	0.997	0.997	0.981
0.958	0.963	0.968	0.972	0.975	0.980	0.983	0.987	0.989	0.990	0.991	0.991	0.992	0.992	0.993	0.994	0.994	0.992	0.989	0.992	0.993
0.951	0.955	0.959	0.962	0.967	0.972	0.976	0.981	0.983	0.984	0.983	0.981	0.977	0.972	0.968	0.964	0.965	0.970	0.981	0.993	1

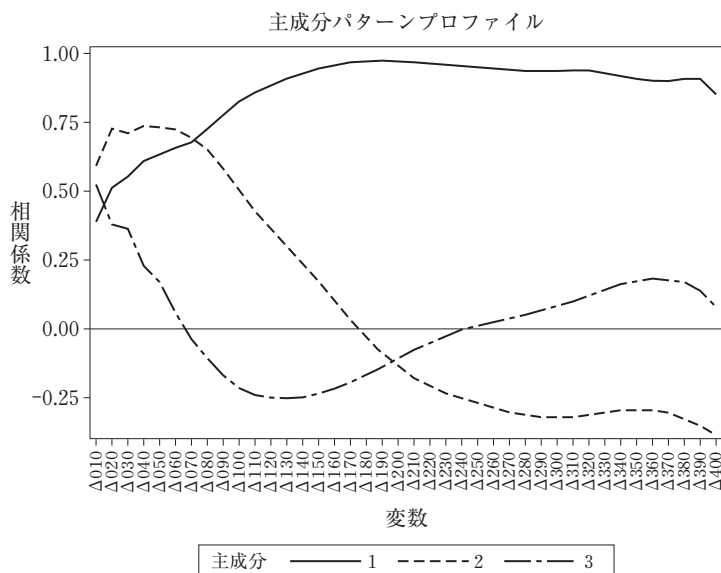
表3 相関係数の固有値, 寄与率, 累積寄与率(変化幅) 全期間

主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	30.4	23.5	75.9%	75.9%
2	6.8	5.4	17.0%	92.9%
3	1.4	0.8	3.6%	96.5%
4	0.6	0.3	1.5%	97.9%
5	0.3	0.1	0.8%	98.7%
6	0.2	0.0	0.4%	99.2%
7	0.1	0.1	0.3%	99.5%
8	0.1	0.0	0.2%	99.7%
9	0.0	0.0	0.1%	99.8%
10	0.0	0.0	0.1%	99.9%
11	0.0	0.0	0.1%	99.9%
12	0.0	0.0	0.0%	99.9%
13	0.0	0.0	0.0%	100.0%

表4 相関係数の固有値, 寄与率, 累積寄与率(変化率) 全期間

主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	24.0	19.5	59.9%	59.9%
2	4.4	2.9	11.0%	70.9%
3	1.5	0.2	3.8%	74.7%
4	1.3	0.1	3.3%	78.0%
5	1.3	0.1	3.2%	81.2%
6	1.2	0.1	3.0%	84.2%
7	1.1	0.1	2.9%	87.1%
8	1.1	0.1	2.7%	89.8%
9	1.0	0.1	2.5%	92.3%
10	0.9	0.1	2.2%	94.5%
11	0.8	0.1	2.0%	96.4%
12	0.7	0.4	1.7%	98.1%
13	0.2	0.0	0.6%	98.7%
14	0.2	0.1	0.5%	99.3%
15	0.1	0.1	0.3%	99.6%
16	0.1	0.0	0.2%	99.8%
17	0.0	0.0	0.1%	99.9%
18	0.0	0.0	0.1%	99.9%
19	0.0	0.0	0.1%	100.0%

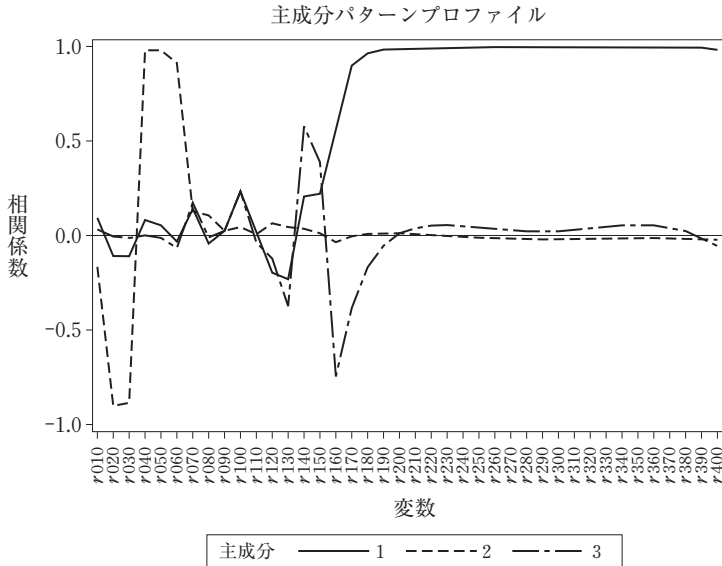
図2 スポット・レート変化幅に対する因子負荷量 全期間



(値としては小さい)の影響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3.6%の第3主成分は10年から14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。

これに対して、図3のスポット・レートの変化率に対する因子負荷量をみると第1主成分は、(因子負荷量は最も小さいもので-0.23と影響は大きいものではないが)2～3年、6年、8年、12～13年に対してマイナス、4～5年、7年、9～11年、14～40年に対してプラスの変動要因(4～5年の因子負荷量はそれぞれ、0.08、0.05であり、17年以降に対しては因子負荷量0.9以上)と影響度合いがばらばらで、イールド・カーブの水準への影響要因と考え

図3 スポット・レート変化率に対する因子負荷量 全期間



ることは難しい。

以上の通り超長期国債の流通市場においても、イールド・カーブの動きを分析する際に、スポット・レートの変化幅で主成分分析を行う場合と、変化率で行う場合では、結論が大きく異なることが確認できた。イールド・カーブの動きに対する主成分の説明力が低下するだけでなく、各種成分の影響の与え方が大きく異なる。ここまでの分析結果からすると、イールド・カーブの動きを分析する際に、スポット・レートの変化幅で主成分分析を行うことが望ましい。

そこで以下では、高橋(2019)の分析期間との対比、また高橋(2022a)の長期国債との対比もかねて、計測期間をいくつかのサブ・ピリオドに分けて、スポット・レートの変化幅で主成分分析を行うことで、イールド・カーブの変動要因を分析する。はじめに今回の分析対象期間で非常に大き

なインパクトをもたらした世界金融危機の影響をみるために、リーマンブラザーズの経営破綻を境として、その前後でイールド・カーブの変動要因に変化がみられるかどうか確認する。その後、日本における金融政策のレジームの違いによって、イールド・カーブの変動要因が変化しているのかどうかを確認しよう。

Ⅲ．世界金融危機前後の比較

世界金融危機前後でイールド・カーブ変化の比較を検証するために、全体の計測期間をリーマンブラザーズが経営破綻した2008年9月15日の前後で分けて主成分分析を行った。

表5に示されているスポット・レートの変化幅でみた金融危機前の固有値、寄与率によると、第1主成分で全体の73.0%と大きな説明力を持っており、第3主成分までの累積寄与率は97.9%と3つの要因で大部分の動きを説明できていることがわかる。表3にある全期間と比較すると第1主成分の説明力は少し低下(75.9%から73.0%)したものの、第2主成分まで(92.9%から93.6%)、第3主成分まで(96.5%から97.9%)と第3主成分までの説明力では上回っている。

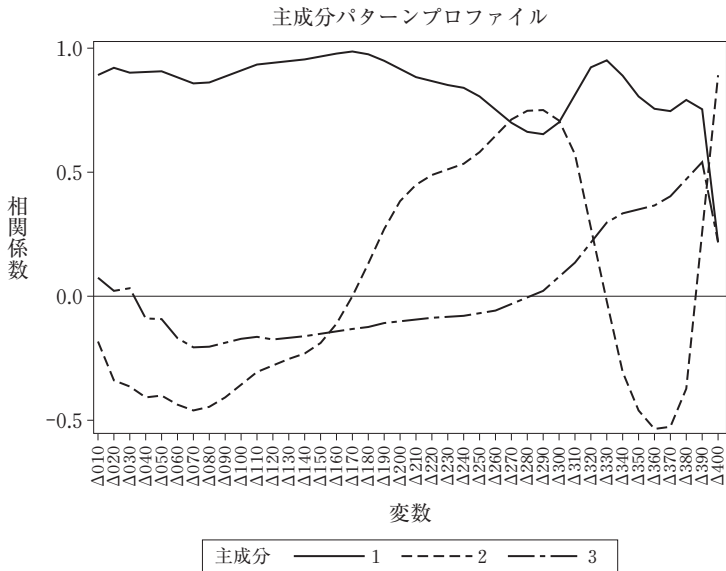
図4の因子負荷量をみると、各種成分の長い年限への影響が全期間を通しての影響から想定されるものと大きく異なっている。特に第2主成分の30年超から40年前までの年限への影響が全体の流れと異なっている。こうした特徴は、この時期の金融環境による影響というよりは、40年物超長期国債の取引が始まったのは2007年11月からであり、当初しばらくの間30年から40年までの残存期間の銘柄の取引がなされておらず、30年から40年までのイールド・カーブが不安定なものであったためと考えられる。

第1主成分のスポット・レートへの影響は、40年で0.21とかなり低いことを除けば、20年までや32年から34年は0.9以上であり、低いところでも

表5 相関係数の固有値, 寄与率, 累積寄与率(変化幅) 世界金融危機前

主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	29.20	20.97	73.0%	73.0%
2	8.23	6.51	20.6%	93.6%
3	1.72	1.31	4.3%	97.9%
4	0.41	0.09	1.0%	98.9%
5	0.32	0.25	0.8%	99.7%
6	0.07	0.04	0.2%	99.9%
7	0.03	0.02	0.1%	100.0%

図4 スポット・レート変化幅に対する因子負荷量 世界金融危機前



0.7程度の影響を与えていることから, イールド・カーブの水準へ影響を与える要因と考えてよいだろう。

第2主成分は31年から39年を除くと17年付近を境として, それより短い

年限にはプラス、長い年限にはマイナスの影響を与えるという形で傾きに影響を与える要因と考えることができる。ただし、図2と比較すると、傾きへの影響が逆、つまり傾きを急にする要因（スティープ化要因）であった。

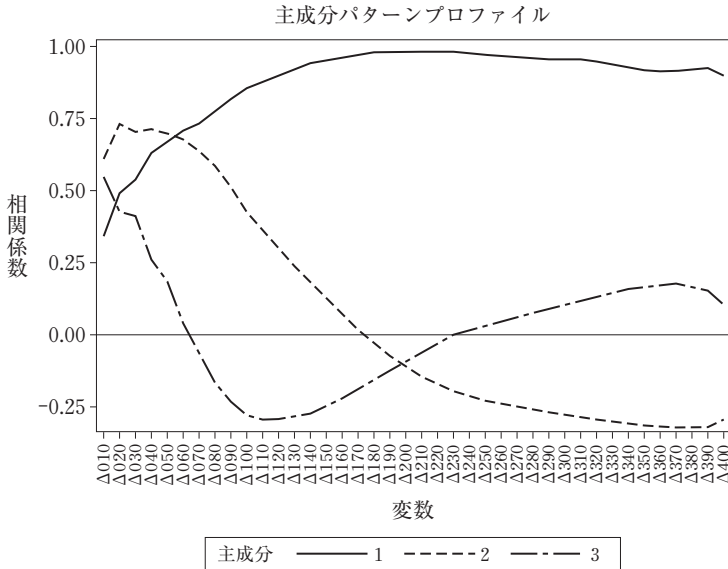
続いて世界金融危機後の期間でのイールド・カーブの動きの特徴を確認してみよう。表6に示されている金融危機後の固有値、寄与率によると、第1主成分で全体の77.9%とかなり大きな説明力を持っており、第3主成分までの累積寄与率は96.6%と3つの要因で大半の動きを説明できていることがわかる。この数値は、表3にある全期間に関する分析結果96.5%とほぼ同じ値であるが、表5に示されている金融危機前の97.9%と比べるとやや低いことから、3つの主成分の説明力に関しては金融危機後には、わずかながら説明力が低下しているということができないかもしれない。

図5の因子負荷量をみると第1主成分（寄与率77.9%）は、1年スポッ

表6 相関係数の固有値、寄与率、累積寄与率（変化幅）世界金融危機後

主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	31.1	25.3	77.9%	77.9%
2	5.8	4.1	14.5%	92.4%
3	1.7	1.2	4.2%	96.6%
4	0.5	0.1	1.1%	97.7%
5	0.3	0.2	0.9%	98.6%
6	0.2	0.0	0.5%	99.0%
7	0.1	0.1	0.4%	99.4%
8	0.1	0.0	0.2%	99.6%
9	0.1	0.0	0.2%	99.7%
10	0.0	0.0	0.1%	99.8%
11	0.0	0.0	0.1%	99.9%
12	0.0	0.0	0.1%	99.9%
13	0.0	0.0	0.0%	100.0%

図5 スポット・レート変化幅に対する因子負荷量 世界金融危機後



ト・レートへの影響は0.34と金融期前の0.89と比べるとかなり低い水準であるが、全期間で見た場合の0.39と大きく異なっているわけではない。10年までの年限への影響も小さくなっているが、10年以降は概ねフラットな影響を与えていることから、やはりイールド・カーブの水準へ影響を与える要因と考えてよいだろう。

第2主成分(寄与率14.5%)は17年付近を中心として、それより短い年限にはプラス、長い年限にはマイナスの影響を与えるという形で傾きに影響を与える要因と考えることができる。第3主成分(寄与率4.2%)は11年から12年を底としたU字形となっており、イールド・カーブの形状に影響を与える要因と考えてよいだろう。図2に示されている全期間でみた因子負荷量と数値に多少の違いがあるものの、形状もかなり似通っていることから、大きな変化を読み取ることは難しい。一方で図4に示されている金

融危機前のグラフとは大きく異なっている。

IV. 金融政策の影響

ここでは、日本の金融政策の違いが、超長期国債流通市場のイールド・カーブの動きにどのように影響を与えているかを検討する。紙幅の関係もあり、相関係数は省略し、主成分の説明力を比較するため固有値、寄与率、累積寄与率と第3主成分までの因子負荷量について成分パターンプロファイルで示すことにしよう。

1. 量的緩和政策終了期

2001年3月19日に導入された量的緩和政策は、2006年3月9日に解除された。この量的緩和政策解除の2006年3月9日から2010年10月5日の包括的金融緩和政策導入までの期間を（便宜上）「量的緩和政策終了期」と呼ぶことにする。

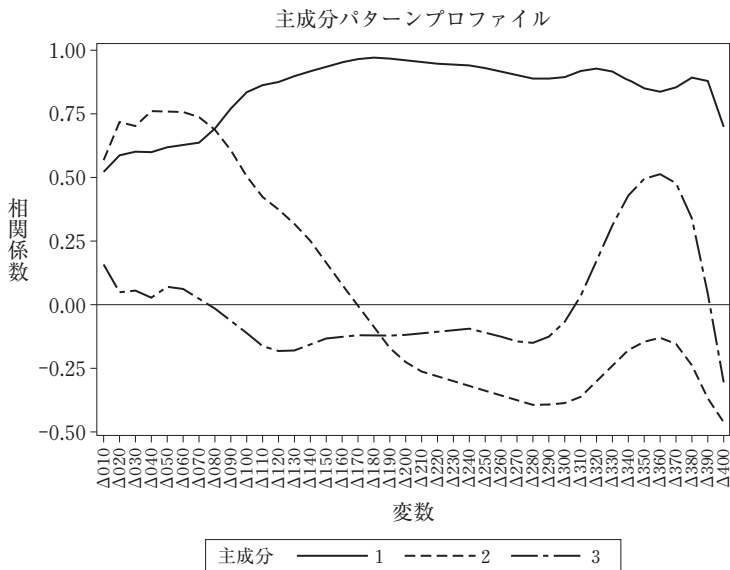
表7によると、第1主成分の寄与率が72.6%とかなりの割合の変動を説明しており、第3主成分までで94.9%と、ほとんどの変動を説明できていることがわかる。第2主成分の寄与率18.2%と併せて考えると、この期間のイールド・カーブの変動は平行シフトが中心で、1割程度の傾きの変動があったと考えることができよう。

図6に示されている因子負荷量をみると、第1主成分のスポット・レートに与える影響は1年のスポット・レートに対して0.52と若干低いものの、10年以降の年限は（40年を除き）少なくとも0.84以上のフラットに近い影響を与えている。第2主成分の因子負荷量から傾きの変化は10年を中心に生じていたことがわかる。この期間でも第2、第3主成分の30年以降の年限への影響が想定されているのと少し違うことがみてとれる。

表7 相関係数の固有値, 寄与率, 累積寄与率 量的緩和政策終了期

主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	29.0	21.7	72.6%	72.6%
2	7.3	5.6	18.2%	90.7%
3	1.7	0.5	4.2%	94.9%
4	1.1	0.7	2.8%	97.7%
5	0.4	0.2	1.0%	98.7%
6	0.2	0.1	0.5%	99.2%
7	0.2	0.1	0.4%	99.6%
8	0.1	0.0	0.2%	99.8%
9	0.0	0.0	0.1%	99.9%
10	0.0	0.0	0.1%	99.9%
11	0.0	0.0	0.0%	100.0%

図6 スポット・レートに対する因子負荷量 量的緩和政策終了期



2. 包括的金融緩和政策期

2010年10月5日の包括的金融緩和政策の導入から2013年4月4日の（いわゆるQQE1と呼ばれる）質的量的緩和政策の導入までの期間を「包括的金融緩和政策期」と呼ぶことにする。

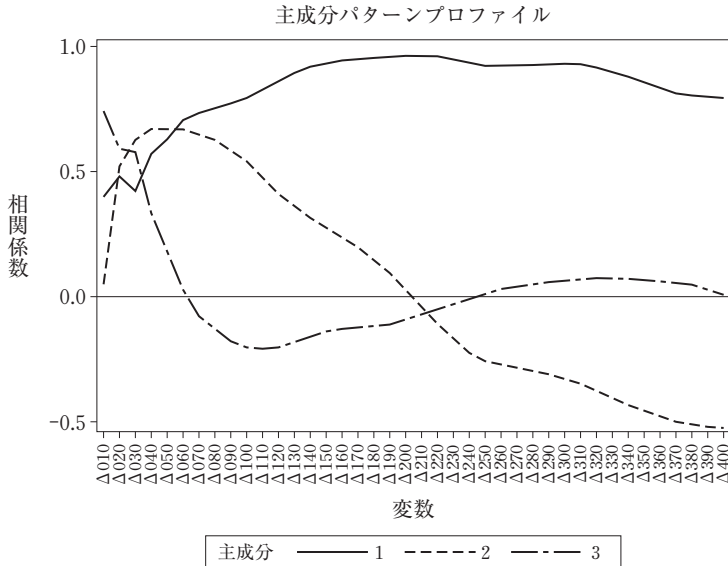
表8によると、相関係数の固有値と寄与率は、第3主成分までの累積寄与率が93.8%と第3主成分までが主要な変動要因であることには違いないが、その程度は前の期に比べ小さくなっていることがわかる。

図7に示されている因子負荷量をみると、第1主成分のスポット・レート変動への影響は、全体としては概ね水準への影響であるが、短い年限と長い年限への影響が小さくなっている、例えば、1年、20年がそれぞれ0.17、0.15と、前の量的緩和政策が解除された期間と比べると大きく低下している。2年、3年、19年のスポット・レート変動への影響についても0.53、0.60、0.43と前の期間と比べ影響が小さくなっている。

表8 相関係数の固有値、寄与率、累積寄与率 包括的金融緩和期

主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	28.8	21.8	71.9%	71.9%
2	7.0	5.2	17.5%	89.4%
3	1.8	0.6	4.4%	93.8%
4	1.1	0.5	2.9%	96.7%
5	0.6	0.4	1.5%	98.2%
6	0.2	0.1	0.6%	98.8%
7	0.2	0.1	0.4%	99.2%
8	0.1	0.0	0.2%	99.4%
9	0.1	0.0	0.2%	99.6%
10	0.1	0.0	0.2%	99.8%
11	0.0	0.0	0.1%	99.9%
12	0.0	0.0	0.1%	99.9%
13	0.0	0.0	0.1%	100.0%

図7 スポット・レートに対する因子負荷量 包括的金融緩和期



第2主成分は10年付近を中心として、それより短い年限にはマイナス、長い年限にはプラスの影響を与えるという形で、つまり傾きを急にする形で影響を与える要因と考えることができる。10年を中心とした傾きへの影響要因と考えられることは同じでも、その影響の方向性はこれまでの期間と逆（これまででは、10年付近を中心として、それより短い年限にはプラス、長い年限にはマイナスの影響）である。

第3主成分は12年を底とするU字形のイールド・カーブの形状への影響要因と考えることができる。

3. 質的量的緩和期 (QQE1)

2013年4月4日のいわゆるQQE1と呼ばれる質的量的緩和の導入から2014年10月31日のハロウィーン・バズーカなどと呼ばれたサプライズな政

策変更までの質的量的緩和政策の第1期を「質的量的緩和期（QQE1）」と呼ぶことにする。

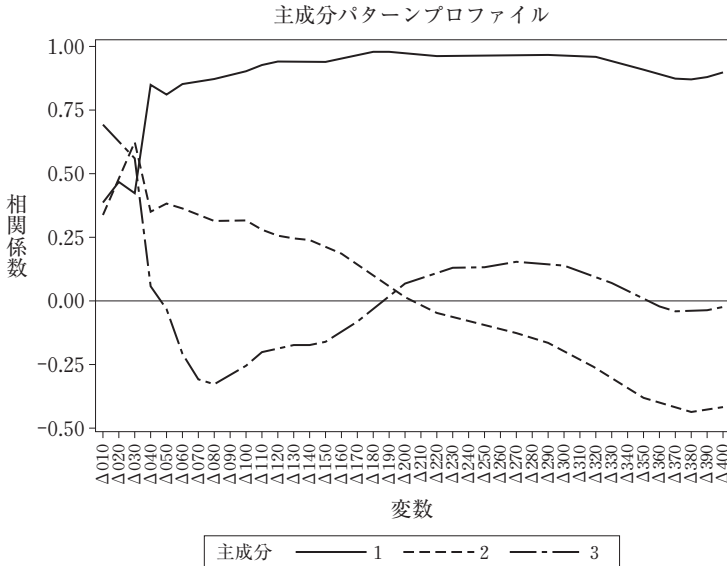
表9によると、この期間も累積寄与率93.7%と第3主成分までが主要な変動要因であることがわかる。包括的金融緩和期と比べると、第3主成分までの影響はほぼ同じであるが、第1主成分の影響は80.3%に上昇、第2主成分の影響が8.5%に低下している。

図8に示されている因子負荷量をみると、各主成分の1年、2年の年限への影響が小さくなっていることがわかる。1年、2年のスポット・レート動きが小さくなったことを反映している可能性がある。1年から3年への第1主成分は影響が低下しているものの、それ以降は少なくとも0.8以上のイールド・カーブ全体に同様の影響を与えていることから水準への影響要因であり、第2主成分は、包括的金融緩和政策期と同様、20年付近を中心として傾きを緩やかにする影響要因であり、第3主成分は7年から8年付近を底にしたU字型の影響であるから曲がりへの影響要因と考え

表9 相関係数の固有値、寄与率、累積寄与率 質的量的緩和期（QQE1）

主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	32.1	28.7	80.3%	80.3%
2	3.4	1.4	8.5%	88.7%
3	2.0	1.0	5.0%	93.7%
4	1.0	0.4	2.5%	96.2%
5	0.6	0.2	1.5%	97.7%
6	0.4	0.1	0.9%	98.6%
7	0.2	0.1	0.6%	99.2%
8	0.2	0.1	0.5%	99.6%
9	0.1	0.0	0.2%	99.8%
10	0.0	0.0	0.1%	99.9%
11	0.0	0.0	0.1%	100.0%

図8 スポット・レートに対する因子負荷量 質的量的緩和期(QQE1)



ることができる。

4. 質的量的緩和期(QQE2)

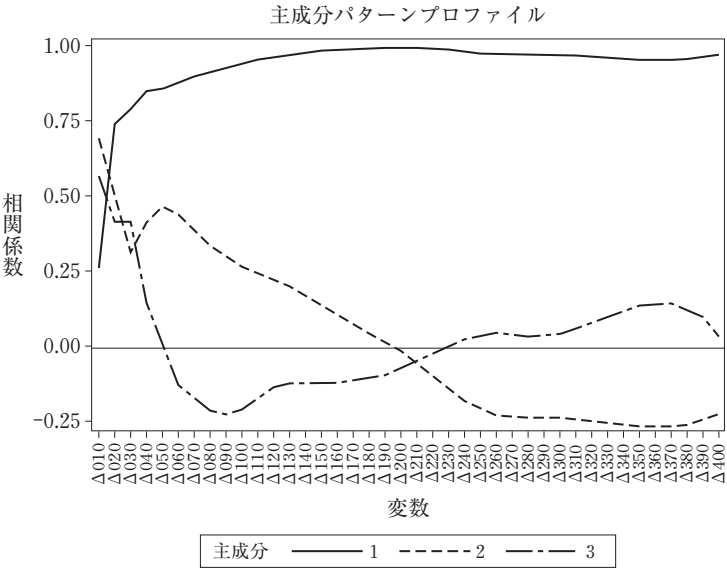
2014年10月31日から2016年1月29日のマイナス金利政策の導入までの質的量的緩和政策の第2期を「質的量的緩和期(QQE2)」と呼ぶことにする。表10の固有値および寄与率をみると、第1主成分の寄与率は87.9%と多くの変動を説明している。また、第3主成分までの説明力も98.6%と大きな数字であり、第3主成分までで全体の動きの大半を説明している。

図9の因子負荷量は、全体の変動の87.9%を占めている第1主成分は、1年への影響が0.26と第2主成分の影響0.70よりも小さい。第1主成分の2年、3年への影響がそれぞれ0.74、0.79と少し小さいものの、それ以降の年限に関しては0.84以上のほぼ同じ影響を与えていることから、水準へ

表10 相関係数の固有値, 寄与率, 累積寄与率 質的量的緩和期 (QQE2)

主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	35.2	32.1	87.9%	87.9%
2	3.1	2.0	7.8%	95.7%
3	1.2	0.9	2.9%	98.6%
4	0.3	0.2	0.7%	99.3%
5	0.1	0.1	0.4%	99.7%
6	0.1	0.0	0.2%	99.8%
7	0.0	0.0	0.1%	99.9%
8	0.0	0.0	0.1%	100.0%

図9 スポット・レートに対する因子負荷量 質的量的緩和期 (QQE2)



の影響要因と考えてよいだろう。全体の7.8%の変動を説明している第2主成分は、19年を境とした傾きを緩やかにする変動要因であると考えられる。第3主成分は、9年を底とするU字型であるが10年以降のイールド・

カーブへの影響は大きくても(絶対値レベルで)0.17程度であり、形状への影響は限定的である。

5. マイナス金利政策期

2016年1月29日のマイナス金利政策導入から2016年9月21日のイールド・カーブ・コントロール政策の導入までの期間を「マイナス金利政策期」と呼ぶことにする。

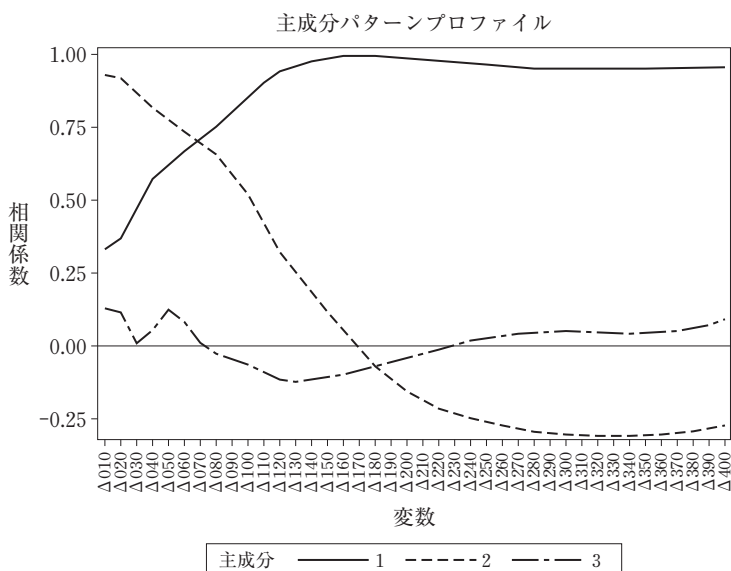
この期間について、表11の固有値をみると第1主成分で全体の79.8%、第2主成分までで99.4%とイールド・カーブの動きをほとんど説明でき、第3主成分までみれば99.9%とイールド・カーブの変動をほぼ完全に説明できていることがわかる。

図10の因子負荷量をみると第1主成分の影響は、1年、2年はそれぞれ0.33、0.37と低い水準であるが、9年以降は0.8以上であり、どの年限にも同程度の大きな影響を与える水準への影響要因であると考えられる。第2主成分は17年を境として傾きを緩やかにする変動要因として考えることができよう。第3主成分は、大きいものでも1年の0.13、2年の0.11であり、小さいものも12年から14年の-0.12とかなりフラットに近いものの、12年から14年を底にしたU字形の形状変化要因と考えられる。

表11 相関係数の固有値、寄与率、累積寄与率 マイナス金利政策期

主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	31.9	24.0	79.8%	79.8%
2	7.9	7.7	19.7%	99.4%
3	0.2	0.2	0.5%	99.9%
4	0.0	0.0	0.1%	100.0%

図10 スポット・レートに対する因子負荷量 マイナス金利政策期



6. イールド・カーブ・コントロール政策期

2016年9月21日のイールド・カーブ・コントロール政策の導入以降の期間を「イールド・カーブ・コントロール政策期」と呼ぶことにする。

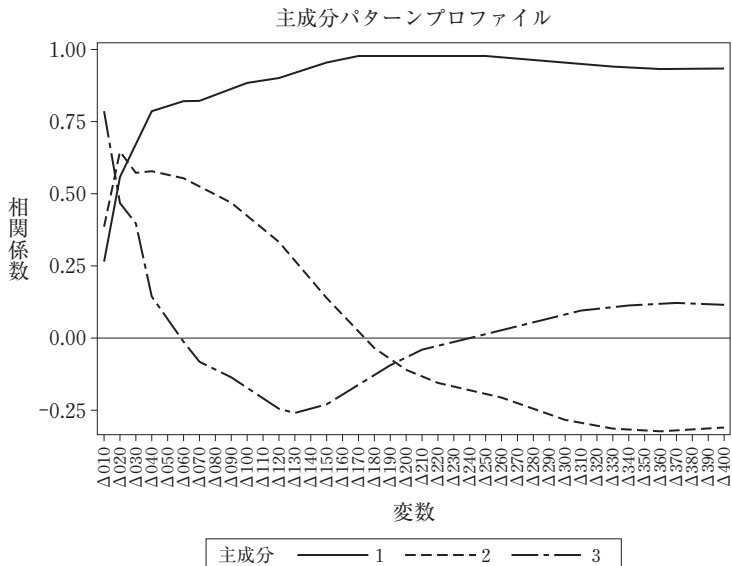
表12の寄与率・累積寄与率をみると、第3主成分までの累積寄与率が97.8%と、やはりこの期間も3つの主成分でイールド・カーブの変動のほとんどを説明できていることがわかる。

図11の因子負荷量をみると、他の期間と同様、第1主成分の1年から2年への影響が低いことがわかる。

表12 相関係数の固有値, 寄与率, 累積寄与率 イールド・カーブ・コントロール政策期

主成分	固有値	差	寄与率	累積寄与率
1	32.9	28.3	82.2%	82.2%
2	4.6	3.0	11.6%	93.8%
3	1.6	1.2	4.1%	97.8%
4	0.4	0.3	1.1%	98.9%
5	0.2	0.1	0.4%	99.3%
6	0.1	0.1	0.3%	99.6%
7	0.0	0.0	0.1%	99.7%
8	0.0	0.0	0.1%	99.8%
9	0.0	0.0	0.1%	99.9%
10	0.0	0.0	0.0%	99.9%
11	0.0	0.0	0.0%	99.9%
12	0.0	0.0	0.0%	100.0%

図11 スポット・レート変化幅に対する因子負荷量 イールド・カーブ・コントロール政策期



V. おわりに

本稿では、イールド・カーブ（スポット・レート）の主成分分析による変動要因の説明力と変動要因のイールド・カーブへの影響に注目して、日本の超長期国債流通市場でのイールド・カーブの動きを検討した。

変動要因の説明力に関しては、計測期間全体で第1主成分から第3主成分までの累積寄与率を比較すると、96.5% vs 63.2%のように（前の数字が変化幅の累積寄与率）、変化水準（スポット・レートの変化幅）に対する主成分分析の方が、変化率に対する主成分分析に比べイールド・カーブの動きの説明力が高い。これは高橋（2021a）や Takahashi（2022）で確認した JPY や CHF の金利スワップ市場での説明力の違いほどではないが、決して無視できるような水準ではない。

全体の期間について変動要因のイールド・カーブへの影響は、因子負荷量に基づいた成分パターンプロファイルによると、第1主成分による変化は全体の75.9%の変動を説明するもので、イールド・カーブの水準に影響を与えるものと考えられる。短い年限のスポット・レートに対する影響は、中長期のスポット・レートに比べると小さく、完全に平行シフトとまでは言えないが、第1主成分に対するヘッジはデュレーションヘッジに近いものであると言えよう。第2主成分は寄与率17.0%の17年あたりを境に短い期間に対してプラス、長い期間に対してマイナスに、17年から離れるほどその影響が大きいということから、イールド・カーブの「傾き」に影響を与える要因として考えた。第3主成分は、先行研究では、しばしば「曲率」と呼ばれておりイールド・カーブの曲がり具合を変化させる要因である。3.6%の寄与率である第3主成分の成分パターンプロファイルは10年から14年を底としたU字型をしており、イールド・カーブの形状（曲がり具合）を変化させるものであると考えることができる。

表13 計測結果の要約(期間ごとの第3主成分までの説明力の比較)⁴⁾

期間の名称	イールド・カーブの種類			
	40年	30年	20年	10年
全期間	96.5%	97.6%	95.3%	98.7%
世界金融危機前	97.9%	99.2%	99.0%	98.6%
世界金融危機後	96.6%	96.8%	94.0%	98.7%
量的緩和政策終了期	94.9%	97.9%	97.8%	99.1%
包括的緩和政策期	93.8%	96.0%	92.4%	96.6%
質的量的緩和期(QQE1)	93.7%	97.2%	94.3%	97.8%
質的量的緩和期(QQE2)	98.6%	98.2%	98.1%	98.4%
マイナス金利政策期	99.9%	99.5%	99.5%	99.8%
イールドカーブコントロール政策期	97.8%	97.3%	97.6%	98.7%

次に世界金融危機のイールド・カーブの動きに対する影響を検討した。そこでは、世界金融危機は、超長期国債流通市場のイールド・カーブの動きに明確な影響がなく、3つの主成分は依然として高い説明力を持っていることが明らかにされた。

最後に表13に、第3主成分までがどの程度の説明力があるかについて計測結果の要約を示しておく。参考までにイールド・カーブの動きをスポット・レートの変化率でみる場合も併せて示しておいた。金融政策のレジームによる第3主成分までの説明力には極端な違いはなく、もちろん各主成分のイールド・カーブへの影響には、それぞれの期間で細かな違いはあるが、全体の期間を通じての影響を基本として考えればよいものであると言

4) それぞれのイールド・カーブの計測開始期間は、30年と40年が2007年11月から、20年が2006年3月から、10年が2002年8月からである。これに伴い、量的緩和政策は2001年3月19日から始まっているが、30年と40年のイールド・カーブでは2007年11月から、20年のイールド・カーブでは2006年3月からを「量的緩和政策」期間としている。

えよう。

本稿では、10年物の長期国債、20年物、30年物、40年物の超長期国債をひとつの流通市場と考え、ただひとつのイールド・カーブを構築した分析を行ったが、40年物超長期国債の銘柄数が少ない時期には、30年超のイールド・カーブが不安定である状況が観察された。また、残存期間ごとの最終利回りを見ても、国債の種類によって利回りの違いが観察されている。これらすべてをひとつの流通市場と考えイールド・カーブを構築することの妥当性については、今一度基本に立ち返って検討すべき課題である。

参 考 文 献

- 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」『東京経大学会誌』第299号，33-57頁。
- 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。
- 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。
- 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，73-95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，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”? —」『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)」『商学論纂』第59巻第5・6号，407-477頁。
- (2019) 「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。

- (2021a)「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)—」『商学論纂』63巻3・4号、47-71頁。
- (2021b)「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(2)—」『商学論纂』63巻5・6号、25-59頁。
- (2022a)「日本国債市場のイールド・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長期国債流通市場での変動分析—」『商学論纂』64巻1・2号、1-30頁。
- (2022b)「日本国債市場のイールド・カーブ変動の測定(2)—スポット・レート変化幅の主成分分析による超長期国債流通市場での変動分析—」『商学論纂』64巻3・4号、1-35頁。
- Takahashi, T. (2022), “Measuring Yield Curve Movements: A Principal Component Analysis of Spot Rate Changes in the JPY, USD, GBP, and CHF Interest Rate Swap Markets”, Lee, C.-F. and Yu, M.-T. (Ed.) *Advances in Pacific Basin Business, Economics and Finance*, Vol. 10, Emerald Publishing Limited, Bingley, pp. 193-208. <https://doi.org/10.1108/S2514-465020220000010011>
- 高橋豊治 ほか (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』第17号、119-156頁。
- 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(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、71-86頁。