



イールドカーブ (金利の期間構造) の決定要因について —日本国債を中心とした学術論文のサーベイ—

財務総合政策研究所 研究員
服部 孝洋*1

シリーズ
日本経済
を考える

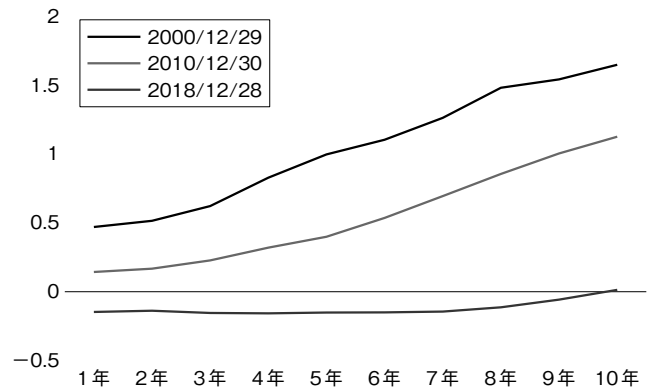
93

1. はじめに

国債は株式とは異なり、満期があるがゆえ、発行体は同じであるにもかかわらず、例えば、10年と9年の国債では異なる価格（金利）が付される。もっとも、10年国債は1年経てば9年国債になるがゆえ、年限が異なる国債を別々に取り扱うのではなく、その間の関係を考える必要が生まれる。国債の金利と年限の関係を「金利の期間構造（タームストラクチャ）」と呼び、この関係を直感的に捉えるため、金利と年限の関係を図示したものが、イールドカーブである（図1）。本稿では金利の期間構造がどのような要因によって決まっているかについて基本事項を記載するとともに、それにかかる学術研究の成果について整理することを目的としている。本稿は金融市場の実務家だけでなく、霞が関や中央銀行など政策担当者の中で金利動向やその学術研究に関心がある方を想定読者としている。

我が国において、イールドカーブへの理解の重要性は増している。今後も長期的に財政赤字が続いていくことを考えると、安定的な国債消化等を図る観点からイールドカーブの変動要因を理解する必要がある。また、現在日本銀行は「イールドカーブ・コントロール（Yield Curve Control, YCC）」政策を実施していることから、近年では金融政策を理解するためにも金利の期間構造の理解が求められる。もちろん、日本の金利に関する分析は実務家を中心に多数なされている

図1 日本国債のイールドカーブ
(金利、%)



出所：財務省データより筆者作成

が、国際的に膨大になされている学術研究の内容について日本語で平易に記載した文章は相対的に少ない。

本稿は経済学における代表的なサーベイ誌である Journal of Economic Literature に掲載された Gürkaynak and Wright (2012) をベースに金利の期間構造について説明を行う。本稿では可能な限り数式による説明を避け、直感を重視した説明を行う一方、数式を用いた補足事項についてはBOXを設けて説明している。また、円債市場における実務との関係性が分かるように、実務的な事例についても取り上げている。

なお、本稿では金利の期間構造に関する学術研究を整理するにあたり、日本で最もスタンダードである「純粋期待仮説」、「流動性プレミアム仮説」、「市場分断仮説」という分類を用いている。例えば、三菱東京

*1) 本稿は専ら研究目的で書かれたものである。本稿の意見に係る部分は筆者の個人的見解であり、筆者の所属する組織の見解を表すものではない。本稿の記述における誤りは全て筆者に帰する。また本稿は、本稿で紹介する論文の正確性について何ら保証するものではない。本稿につき、コメントをくださった多くの方々へ感謝申し上げます。

連載
日本経済
を考える

UFJ銀行*2が執筆した「国債のすべて」でもイールドカーブの決定要因として同様の分類が見られるなど、我が国の円債関係者の中では、この分類を基に、金利の期間構造について議論することに一定のコンセンサスがあるものと思われる。

本稿の構成は次の通りである。2節で純粋期待仮説について記載し、3節で流動性プレミアム仮説について言及する。4節では筆者の学術研究の紹介を交えつつ、市場分断仮説について記載する。5節は結語である。

2. 純粋期待仮説

2.1 純粋期待仮説とは

金利の期間構造を考えるうえで、最初に教科書で取り上げられる内容は「期間構造に関する（純粋）期待仮説」である*3。純粋期待仮説の直感的なメッセージは、長期金利は将来にわたる短期金利の予測によって決まっているというものである。例えば、10年国債の金利には向こう10年間にわたる1年金利の予想が集約されていると解釈される。

通常、この仮説を説明する際には、投資家の裁定行動*4を考える。ここでは話を簡単にするため、1年債を短期国債、2年債を長期国債としたうえで、長期国債の金利がどのように決まるかを考えてみよう。ある投資家が2年間の投資を考えており、(1) 2年債を投資する場合と(2) 1年債に投資したあと、さらに1年債へ投資する場合の2つの選択肢を考えているとする。もし投資家が(1)と(2)を同質の投資だと考えるのであれば、(1)と(2)のリターンが同一でなければ裁定機会が発生してしまう。「期間構造に関する（純粋）期待仮説」とは、(1)と(2)のリターンが異なれば投資家の裁定が働さうがゆえに、結果として(1)と(2)のリターンが一致することになるといえるものであり、この説に基づけば、2年債の金利は

今年の1年債と来年の1年債の金利の平均的なリターンと解釈することができる。

この議論は例えば、(1) N年債を投資する場合と(2) 1年債をN年間投資する、という形で一般化することが可能であり、前述のような裁定関係を用いれば、長期金利が将来の短期金利の平均的なリターンに一致することを示すことができる。もう少しフォーマルに純粋期待仮説を定義すると次のような式で表現できる(数式を用いた定義はBOX 1を参照されたい)。

$$\text{名目長期債利回り} = \text{短期金利の期待値の平均} \dots (1)^{*5}$$

2.2 純粋期待仮説に関する実証研究

それではこの純粋期待仮説はどの程度の説明力をもっているだろうか。実は期待仮説が金利の期間構造を完全に説明できると考えている人は、実務界でも学術界でもほとんどいない、といっても良い。米連邦準備制度理事会(Federal Reserve Board, FRB)の副議長を務めたプリンストン大学のアラン・ブラインダー教授の表現を借りるなら、「金利の期間構造に関する期待仮説を現実のデータで証明できないということは、疑いを差し挟む余地のない事実」である*6。

期待仮説の検証に関する代表的な研究はCampbell and Shiller (1991) やCampbell (1995) などであるが、ここでは「フォワード・レート」を説明したうえで、期待仮説の検証に関する内容を直感的に説明する*7。先ほどは(1) 2年債を投資する場合と(2) 1年債に投資したあと、さらに1年債へ投資する2つの選択肢を考えた。2年債の金利と1年債の金利については、実際の取引データを取得することもできるが、話を簡素化するため前者を2%、後者を1%とする。この場合、(1)と(2)の投資のリターンが同じと考えることで、現時点で取引されている2年債の金利(2%)と1年債の金利(1%)を用いて、1年先の1年金利を計算することができる(図2を参照)。これが、将来

*2) 同行の名称については同書が出版された時の名称を用いている。

*3) 純粋期待仮説以外にも、期待仮説(Expectation Hypothesis)と呼ばれることもある。本稿では明示的に区分をしていないが、純粋期待仮説と期待仮説を厳密に分けて定義する文献もある(前者は長期債の短期債に対する期待超過収益率はゼロ、後者は期待超過収益率が時間を通じて定数)。詳細はLutz (1940)、Campbell et al. (1996)などを参照のこと。

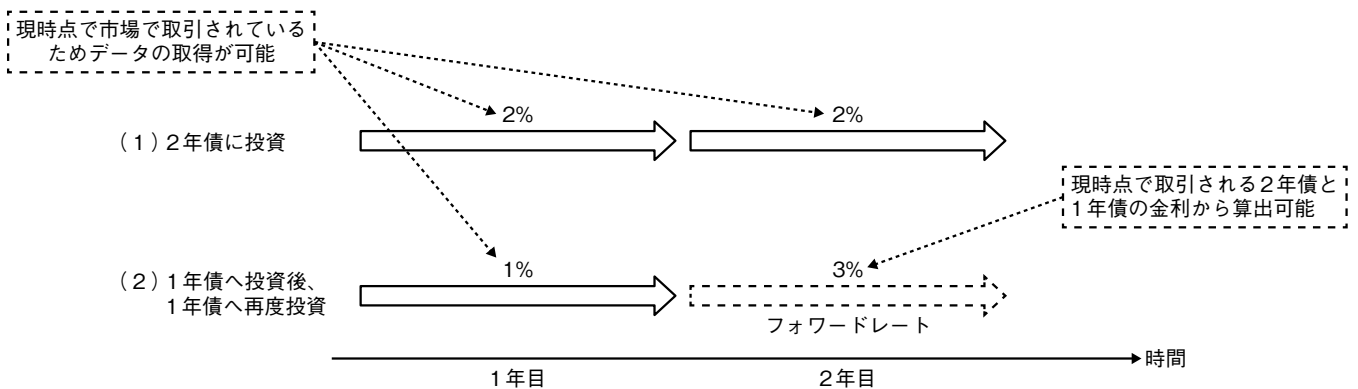
*4) 類似性の強い2つの商品の価格に乖離がある場合、相対的に価格が高い商品売り、価格が安い商品を買うことにより収益化を図る投資行動をいう。アービトラージと表現することもある。

*5) この式の表記はAng (2014)を参照としている。

*6) ブラインダー (2008)を参照。

*7) フォワード・レートを用いた期待仮説の検証についてはブラインダー (2008)を参照している。より詳細な説明は同書を参照されたい。

図2 純粋期待仮説とフォワード・レートのイメージ



時点の金利、すなわちフォワード・レートの考え方である*8。

例えば、100円の資金を持っており、(1)と(2)の運用を行う場合、(1)なら、2年間の運用でおおよそ4円(=2円×2年)の収益を生む。一方、(2)の場合、最初の1年目で1%のリターンをもたらすので、2年間で投資(1)と同じ収益をもたらすには2年目の金利が3% (2年目の運用で3円もらえる計算)程度になっていなければ2年間における平均リターンが2%とならない。この場合、この3%が1年先の1年債のフォワード・レート(1年先の1年金利)である。この例では2年金利が1年金利より高いため、イールドカーブが右上がりの形状(いわゆる順イールド*9)になっているが、フォワード・レートを市場参加者の予想と解釈するならば*10、将来の短期金利は上昇するという予測が形成される。

これまでの学術研究はフォワード・レートが実際の金利の動きを説明できないことを指摘しているが、フォワード・レートが予測力を持っていないことは日本の金利のデータを見ている実務家からすれば一目瞭然である。日本のイールドカーブは、1990年代前半など一時的な期間を除き、右肩上がり(すなわち長期金利のほうが短期金利より高い状況)が続いてきた。したがって、フォワード・レートは基本的には現在の金利より高い状態が続いていたことになり、フォー

ワード・レートを市場予想と解釈するならば、金利が上昇する予想が続いていたことになるが、1990年以降、日本国債の金利は低下しており、フォワード・レートとは真逆の動きをしている。

Campbell and Shiller (1991)以降、例えば計量経済学的な側面で改善を行った研究(Bekaert and Hodrick 2001; Bekaert et al. 2001など)や超過リターンに着目した研究(Fama and Bliss 1987; Cochrane and Pizzesi 2005, 2008など)*11など、期待仮説に対して様々な検証がなされている。その中には、例えば、短期債に限定していえば期待仮説をサポートする研究も存在するほか(Rudebusch 1995; Longstaff 2000)、投資家に対するアンケートに基づく予想と一貫性があるとの報告もある(Froot 1989)が、全体としては期待仮説に対して否定的な結果が多い。

2.3 実務という観点で見た期待仮説とフォワード・レート

なお、フォワード・レートは予測力がないとはいえ、実務の世界ではフォワード・レートが使われることは少なくない。アラン・ブラインダー教授は「中央銀行家は期待仮説が機能しないことは承知している。市場参加者もそんなことは承知しているが、それにもかかわらず何十億ドルもの金利取引を毎日行う際に期待仮説を利用しているように見受けられる」と指摘し

*8) フォワード・レートに対して、現時点の金利を表す際にはスポット・レートという表現が使われることもある。もっとも、スポット・レートという表現で割引債の利回り(ゼロ・クーポン・イールド)を指すこともあるため注意が必要である。

*9) 一方、イールドカーブが右下がりになっていることを「逆イールド」という。日本については1990年代前半に逆イールドが観察された。日銀がQQEを実施して以降、近年でもたびたび観察されている。

*10) フォワードとは先渡契約であり、本来の意味合いは将来の取引をあらかじめ決める際の価格であり、予約価格に近い。筆者の意見では、先渡価格を市場参加者の予測と解釈することは予約価格を将来の予測と解釈しているイメージに近い。

*11) これらの文献は長期債の超過リターンが予測可能であることを実証することを通じて、期待仮説の検証を行っている。日本のデータを用いた研究については作道(2010)などを参照。なお、日本のキャリア・ロール・ダウンのプレミアムについては山田(2000)や菊川・内山・本廣・西内(2017)などを参照されたい。

ている*12。筆者の実感になってしまうが、最も使われるケースは中央銀行による利上げ（利下げ）のタイミングの推定であろう。利上げのタイミングに関する市場参加者の予想については新聞などで見たことがある読者も多いと思うが、この利上げ予想はフォワード・レートをベースにしているものが多い。中央銀行の利上げとは、例えば、決定会合でオーバーナイトの金利を0.25%上昇させることだが、フォワード・レートを将来の金利に関する市場参加者の予想と解釈すれば、0.25%上昇するタイミングを現在のイールドカーブから計算することが可能であり、決定会合の日程等に鑑み、利上げの確率を計算することができる*13。

また、金融派生商品（デリバティブ）が実務的に用いられる場合においてもフォワード・レートが用いられ

ることがある。金融派生商品とは国債などの元の資産から派生した金融商品であり、オプションやスワップなどが挙げられるが、金利に関するオプション取引におけるアット・ザ・マネー（At The Money, ATM）*14を計算する際にフォワード・レートが用いられる*15。債券の中には、変動利付債*16に金利の下限（フロア）が付されるものや、発行体や投資家の希望に応じて早期に償還するものがあるなど、金利オプション等のデリバティブが含まれていることがあり、債券市場を理解するうえでデリバティブの知識が求められることが少なくない。例えば、変動金利型の個人向け国債は変動金利について最低金利保証があるほか、途中換金ができるなどの制度的工夫がなされている。

BOX 1 純粋期待仮説

ここでは少しフォーマルに純粋期待仮説について整理を行う*17。まず本文で記載した純粋期待仮説が成立していると想定する。この場合、 t を現時点とすると、(1)「2年債の2年間の投資から得られるリターン $((1 + y_t(2))^2)$ 」は、(2)「1年債の1年間の投資の金利 $(1 + y_t(1))$ を得た後、1年債へ再投資することから得られるリターン $(1 + E[y_{t+1}(1)])$ 」に一致する。ここで1年後の1年債の投資の利回りについては現時点の予想であるため、期待値 (E) が付されている。この場合、下記が成立する。

$$(1 + y_t(2))^2 = (1 + y_t(1))(1 + E[y_{t+1}(1)])$$

$E[y_{t+1}(1)]$ は1年先($t+1$ 時点)の1年金利のフォワード・レートと定義し、 $E[y_{t+1}(1)] = f_t(1,1)$ とする。

この式をシンプルにするため $\log(1+r) \approx r$ という近似式を用いると上記は下記のように簡易化できる。

$$2y_t(2) = y_t(1) + f_t(1,1) \leftrightarrow f_t(1,1) = 2y_t(2) - y_t(1)$$

このことを一般化すれば、 n 年先の m 年フォワード・レートは下記のように計算される。

$$f_t(n,m) = \frac{1}{m}((n+m)y_t(n+m) - ny_t(n))$$

*12) アラン・ブラインダー教授は更にこの事実に対して、「彼ら（実務家）はほかに選択肢がないと絶望しているがために、そうしている」とコメントしている。ブラインダー（2008）を参照。

*13) 例えば、Bloombergは利上げ確率を計算するツールを提供しているが、オーバーナイト・インデックス・スワップ（OIS）などのスワップレートを引いてフォワード・レートを算出したうえで、利上げ確率を計算している。

*14) オプション取引において、オプション取引の権利所有者が権利行使した場合には、利益がゼロの状態を指す。金利オプションの代表例に金利スワップに関するオプションであるスワップションがある。スワップションについてはHattori（2017）などを参照。

*15) 金利に関するオプションでは、権利行使価格（ストライク・プライス）をフォワード価格としたオプションをATMと呼ぶことが一般的である。商慣行として日本国債に関するオプションでは、権利行使価格を（フォワードではなく）スポット価格としたオプションをATMと呼ぶこともある。なお、株式については権利行使価格をスポット価格とするオプションをATMと呼ぶことが一般的であり、金融商品によって定義が異なる点に注意が必要（株式の場合、フォワードを計算するうえで不確実性を含む配当が関係することがその一因）。

*16) 利払いの際の利率がマーケットによって変化する債券。

*17) ここでの説明は数式の表記も含め、Gürkaynak and Wright（2012）に負っている。そのため、より詳細な説明は同論文を参照されたい。

BOXの冒頭において「2年債へ投資すること」と「1年債に投資した後、1年債へ再投資すること」を比較したが、これは「n年債へ投資すること」と「1年債へn年間投資し続けていくこと」という形で一般化できる。後者における将来の金利をフォワード・レートで表現すれば、n年債の金利は下記のように記載できる。

$$y_t(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_t(i-1, 1)$$

上記の式に基づけば、10年債の利回りは将来の10年にわたる短期金利の予想を集約したものと解釈することができる。

3. 流動性プレミアム仮説

イールドカーブが右肩上がりになっている理由について、純粋期待仮説では将来の金利が上昇するからだ、という説明になるが、長期債は途中で換金できないため、それに伴うプレミアム（流動性プレミアム、ターム・プレミアム）が発生していると考えられることもできる。これが流動性プレミアム仮説の考え方である*18。債券は基本的にはクーポンが固定されているため、長期債への投資は、現時点で長期間にわたる収益を確定させることと解釈できる。それゆえ、投資期間が長くなれば長くなるほど、市場環境が変化したときの影響をうけやすく、追加的なリスクが伴う。例えば、長期債に投資して金利が上昇した場合、長期にわたり機会損失が発生するがゆえ、価格の変動が大きい。このことはしばしば金利リスク（デュレーションリスク）*19と呼ばれ、長期債の金利にはこの部分のプレミアムが反映されていると解釈することもできる。なお、学術研究では流動性プレミアムより、ターム・プレミアムという表現の方が多く用いられる。

前節で記載した「期間構造に関する（純粋）期待仮説」の式（1）との対比で考えると、長期債の利回りには、短期債の再投資を繰り返すことから得られる期

待収益に加え、プレミアム分が付されていると解釈することができる。そのため、期待仮説のみで説明していた式（1）を拡張し、長期金利を下記のように定式化することができる*20。

名目長期債利回り

$$= \text{短期金利の期待値の平均} + \text{リスク} \cdot \text{プレミアム} \quad \dots (2)^{*21}$$

3.1 アフィン型期間構造モデルとマクロ・ファイナンス

ターム・プレミアムにかかる学術研究について言及するうえで、少しテクニカルな内容になるが、アフィン型期間構造モデル（Affine Term Structure Model）に触れる必要がある*22。というのも、式（2）からターム・プレミアムを計算するためには、「短期金利の期待値の平均」を知る必要があり、これは直接観察できないため何らかのモデルを用いて推定する必要があるからである（この部分が計算できれば、例えば、リスク・プレミアムをターム・プレミアムと解釈し、長期債の利回りとの差分でターム・プレミアムが計算可能である）。2000年以降、急速に発展が進んだアフィン

*18) 期待仮説に関する注記に記載したが、期待仮説は、長期債の短期債に対する期待超過収益率が時間を通じて一定であると定義することがある。そのため、長期債に対してプレミアムが付されているだけであれば期待仮説のフレームワークでも解釈できる。ここでは流動性プレミアムやタームプレミアムが時間を通じて変化することを想定している。

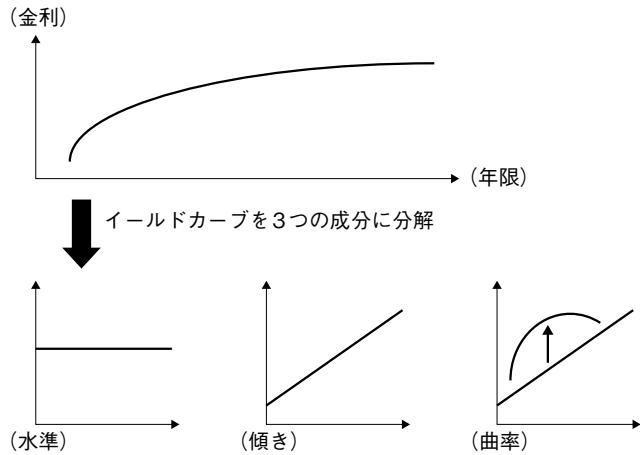
*19) 固定利付債の場合、金利の変化に対する価格感応度が債券の年限におおよそ一致するという特性を有する。なお、実務家は金利リスクを「デルタ」と呼ぶことも少なくない。デルタの定義は、原資産の価格変化に対するデリバティブ価格の変化率を示すが、この場合、金利の変化に対する債券価格の変化という意味合いで用いられる。

*20) Ang et al. (2008) は式（2）をベースに、フィッシャー仮説を用いて「短期金利の期待値の平均」を実質金利と期待インフレ率に変換したうえで、イールドカーブを実質金利、期待インフレ率、リスクプレミアムに分解しており、短期債に対する長期債の利回りは、実質利回りではなく、リスク・プレミアムによる影響が大きい点を指摘した。Ang (2014) などを参照されたい。

*21) この式の表記はAng (2014) を参照としている。

*22) ここでは流動性プレミアム仮説の中で、アフィン型モデルを説明しているが、アフィン型モデルはより広い文脈で用いられる点に注意を要する。例えば、後に言及する市場分断仮説についてもアフィン型モデルが用いられることがある。

図3 ネルソン・シーゲル・モデルのイメージ



出所：財務省「債務管理レポート 2015」を参照

型モデルは、この推定において幅広く用いられている*23。

少し抽象的な話になるが、アフィン型モデルでは金利を表現する際に「アフィン関数」を用いる。アフィン関数とは「定数+線形」という形をとるモデルであり、非線形モデルに比べ取り扱いがしやすい。アフィン型期間構造モデルを用いた初期の研究*24ではイールドカーブに影響を与える要因として、目に見えない要因（潜在変数）のみを用いていた*25。代表的な潜在変数はイールドカーブの「水準」、「傾き」、「曲率」*26という3つのファクターである。例えば、日本国債のイールドカーブの場合、短期国債から40年国債まで数百に及ぶ個別銘柄が存在するが、その背後にはカーブの「水準」、「傾き」、「曲率」という観測できない要因があり、これが個別の金利に影響を与えていると解釈する。このような解釈を行うため、モデルが必要となるが、最もスタンダードなモデルはネルソン・シーゲル・モデル (Nelson-Siegel model) と呼ばれ、アフィン型モデルに一定の制約を課すことで同モデルを導出することができる*27。図3は財務省「債務管理レポート」に掲載されているネルソン・シーゲル・モデル

のイメージ図である（同モデルについてはBOX 2を参照）。

アフィン型モデルでは、マクロ変数もモデルに柔軟に取り込むことができる。米国の短期金利を説明するモデルとしてスタンフォード大学のジョン・テイラー教授が提案したテイラー・ルールが存在するが、テイラー・ルールでは米国の政策金利（短期金利）は「目標とするインフレとのギャップ」および「アウトプットギャップ」に依存する。この意味で、イールドカーブはマクロ経済の変数に影響を受けるが、アフィン型モデルを用いればこの要因を明示的にモデル化することができる。この種の研究はマクロ変数を明示的にモデルに取り込んでいること等を背景に「マクロ・ファイナンス」と呼ばれることも少なくない。

3.2 実証分析の内容

ターム・プレミアムについては、Gürkaynak and Wright (2012) がChristensen et al. (2007) のモデルをベースに推定しており、米国では1970年に上昇したものの、1985年以降低下傾向にある点や、ターム・プレミアムは不景気時に高くなるというカウンター・シクリカルな特性を持つことを指摘している。もちろんターム・プレミアムの値はモデルによって異なるものの、Gürkaynak and Wright (2012) は、これらのポイントについて多くの研究に共通してみられる特徴であると指摘している*28。

マクロ・ファイナンスの研究については、例えば、Bernanke et al. (2004) はアフィン型モデルをベースに、GDP成長率、インフレ、FFレートに加え、インフレと成長の予測を含めた分析を行っている。Smith and Taylor (2009) はマクロ変数のファクターとしてインフレとアウトプットギャップを含めているが、これは短期金利がテイラー・ルールに従って

*23) ここでは「短期金利の期待値の平均」の具体的な計算方法についてはテクニカルであるため省略している（この点についてはGürkaynak and Wright (2012) でも明示的な解説は省略されている）。この点の詳細が知りたい読者はChristensen et al. (2007) あるいは菊池 (2010) などを参照されたい。

*24) Ang (2014) を参照。

*25) 目に見えない要因が推定できるという不思議に感じられるかもしれない。例えば、「リスク・オフ」、「リスク・オン」は市場関係者が好んで用いる用語であるが、これについても直接データで観測できるわけではない。しかし、例えば、多くの金融資産へ影響を与える共通要因という形でモデル化すれば、その共通要因を推定することで潜在変数を抽出することが可能になる。

*26) 筆者の印象になるが、実務家の場合、これを絶対値水準、スプレッド、バタフライなどという表現を用いることが多い。それぞれ「水準」、「傾き」、「曲率」に相当するが、この場合、これらを観測できる変数として取り扱っている。絶対値水準は10年国債の金利そのものを見るのに対して、スプレッドの場合、例えば、「10年金利-5年金利」という形で年限間の相対価格を比較する。バタフライとは年限の異なる3つの債券を用いてイールドカーブの曲率を表現する方法である。例えば、バタフライ・スプレッドとして、5年、7年、10年物の利回りを比べ、7年金利を2倍したもののから5年と10年の金利を引いた値（7年金利から5年と10年の金利の平均を引いた値）が用いられる。

*27) ネルソン・シーゲル・モデルはイールドカーブの補間という観点で用いられることもある。イールドカーブの補間という観点ではネルソン・シーゲル・モデルを拡張したスヴェンソンのモデル (Svensson 1995) が用いられることが多い。詳細は三宅・服部 (2016) を参照。

*28) 例えば、Rudebusch et al. (2007) は異なるモデルを用いてターム・プレミアムを比較している。

いることを意味している。マクロ変数をファクターとして取り扱うことで、イールドカーブがマクロ経済の変動によって変動することを可能にするというメリットがある一方で、潜在変数のみを用いたモデルに対してモデルフィットが高くないという問題点を有する。この問題に対し、Ang and Piazzesi (2003) はマクロ変数と潜在変数の両方をファクターに含めた分析を行っている。同研究では、米国債のデータを用い、金利の期間構造を表現する3つの潜在変数に加え、インフレや実体経済の変数を取り込んだモデルになっており、イールドカーブの短期部分の変動はマクロ・ファクターが8割程度説明するのに対して、長期債では4割程度にとどまることを指摘した^{*29}。

日本のデータを用いたターム・プレミアムの研究については、菊池 (2010) が潜在変数のみに基づく Kim and Wright (2005) をベースに、「短期金利の期待値の平均」と「ターム・プレミアム」に分解している。具体的には、長期金利では米国債に比して、日本国債についてはターム・プレミアムによる割合が大きい点や、日本のターム・プレミアムは株価収益率の上昇（低下）に伴い上昇（低下）する傾向を指摘している。もっとも、前述のとおり、ターム・プレミアムの推定結果は想定しているモデルによって変化する点に留意が必要であり、我が国についてはゼロ金利制約について考慮する必要もある。例えば、一上・上野 (2013) はゼロ金利制約を考慮していないアフィン型モデルにおいて、推計バイアスが生じる点を指摘している。

我が国のデータを用いたマクロ・ファイナンスの研究については Oda and Ueda (2007) が1999年以降の日銀によるゼロ金利コミットメントおよび量的緩和が日本の中長期金利に及ぼした効果を分析している。

具体的には、マクロ・ファイナンスのモデルを用いて、金利を期待仮説部分とリスク・プレミアムに分解するとともに、ゼロ金利コミットメントを通じて、中長期金利を抑制する機能を果たして来た点等を指摘している。藤井・高岡 (2007) はネルソン・シーゲル・モデルを用いて日本のイールドカーブを「水準」、「傾き」、「曲率」の3要素に分解したうえで、マクロ変数との関係性について分析している。市川・飯星 (2011) は Ang et al. (2006) のマクロ・ファイナンスのモデルを改良し、日本の景気一致指数の予測精度の向上が図れるとしている。

アフィン型モデルについては実務の現場で用いられることも少なくない。例えば、財務省が発行する「債務管理レポート 2015」のコラムにおいて、年限ごとの需給バランスを定量的分析するためにネルソン・シーゲル・モデルを用いた分析を紹介している。具体的には、同モデルを用いたうえで、理論的な金利（推定金利）を導出したうえで、実際の観測金利が推定金利よりも低い年限は相対的に需給が締まっている一方（需要強）、観測金利が推定金利よりも高い年限は相対的に需給が緩んでいる（供給強）と解釈している。また、日銀は2016年9月の総括的な検証^{*30}において、「イールドカーブの形状による経済への影響」を分析する中でネルソン・シーゲル・モデルに言及しており、「実質金利1単位の低下が需給ギャップに与える影響については、1~2年がはっきりと大きく、年限が長くなるにつれて小さくなることが分かった」としている。イールドカーブを3つのファクターに集約するために主成分分析^{*31}を用いることも少なくなく、東京三菱UFJ銀行 (2012) は金利シナリオに関する議論の中で3ファクターについて言及している。

*29) 同論文の著者であり、近年、コロンビア大学から大手運用会社であるブラックロックへと転身をしたアンドリュー・アング氏は、「多くのマクロ・ファイナンスの文献は、Ang and Piazzesi (2003) の影響を部分的にうけており」、「博士課程の学生だった時にこの論文の最初の草案を書いたが、当時はこれほど多く引用されるとは思いもよらなかった（我々は非常に幸運だった）」とコメントしている。Ang (2014) より抜粋（邦訳はアング (2014) の和訳を参照）。

*30) https://www.boj.or.jp/announcements/release_2016/k160921b.pdfを参照。

*31) 主成分分析とは多変数が共通して持つ要素を合成変数として集約する統計的手法である。ネルソン・シーゲル・モデルと主成分分析の違いは、ネルソン・シーゲル・モデルはBOX2に記載されるような特定の関数形に基づく一方、主成分分析では特定の関数を用いず、統計的手法で共通要因を抽出しているイメージである。ネルソン・シーゲル・モデルで想定する関数形は様々な望ましい性質を持つが、詳細はDiebold and Rudebusch (2013)などを参照。

BOX 2 アフィン型期間構造モデル

ここでは少しフォーマルに Gürkaynak and Wright (2012) をもとにアフィン型モデルの説明を行う。まず短期金利が下記のように定まると想定する。

$$y_t(1) = \delta_0 + \delta_1' X_t$$

この際、 X_t はファクターであり、ベクトル自己回帰モデル (Vector Autoregressive Model, $X_{t+1} = \mu + \Phi X_t + \Sigma \varepsilon_{t+1}$) に従うと想定する。また、プライシング・カーネル^{*32} が次のような形に従うとする。

$$M_{t+1} = \exp \left(-y_t(1) - \frac{1}{2} \lambda_t' \lambda_t - \lambda_t' \varepsilon_{t+1} \right)$$

上記を条件に、Langetieg (1980) は n 年の債券の利回りが下記のような形で定まることを示した。

$$y_t(n) = -\frac{A_n}{n} - \frac{B_n'}{n} X_t \quad \dots (*)$$

この際、係数である A_n と B_n は $A_1 = -\delta_0$, $B_1 = -\delta_1$ から始まり、次のような形で順次定まる。

$$\begin{aligned} A_{n+1} &= -\delta_0 + A_n + B_n'(\mu - \Sigma \lambda_0) + 1/2 B_n' \Sigma \Sigma' B_n \\ B_{n+1} &= (\Phi - \Sigma \lambda_1)' B_n - \delta_1 \end{aligned}$$

このモデルがアフィン型モデルといわれる理由は、すべての年限の利回りがファクター (X_t) に対して「線形+定数項」という形で表現できるからである。なお、一定の条件の下、(*) は下記のように表現できるが、これはネルソン・シーゲル型のモデルであり、 X_{1t}, X_{2t}, X_{3t} はレベル、傾き、曲率を表す潜在ファクターと解釈される。

$$y_t(n) \simeq X_{1t} + X_{2t} \frac{1 - \exp(-n/\tau)}{n/\tau} + X_{3t} \left[\frac{1 - \exp(-n/\tau)}{n/\tau} - \exp(-n/\tau) \right]$$

アフィン型モデルを用いれば、イールドカーブとマクロ変数の関係を明示的にモデル化することが可能である。例えば、短期金利はテイラー・ルールに基づけば、 $y_t(1) = \delta_0 + \delta_{1,1} \pi_t + \delta_{1,2} gap_t$ と記載できるが ($y_t(1)$ は政策金利、 π_t はインフレ率^{*33}、 gap_t は GDP ギャップ、 $\delta_0, \delta_{1,1}, \delta_{1,2}$ は係数)、アフィン型モデルを用いれば、債券の間で十分な裁定がなされていると想定しながら、すべての年限の金利をインフレとアウトプットギャップに明示的に関係づけることができる。具体的には、任意の n 年の金利に対して、 $y_t(n) = a_0(n) + a_1(n) \pi_t + a_2(n) gap_t$ という形でマクロ・ファクターの線形関数で長期金利を表現できる ($a_0(n), a_1(n), a_2(n)$ は係数)。

*32) プライシング・カーネルについてのアドホックさを排除するため、Campbell (1986) など個人の最適化行動をベースに導出する論文も存在する。マクロ経済学ではプライシング・カーネルより確率的割引ファクター (stochastic discount factor) と呼ばれることが多い。

*33) 一般的にテイラー・ルールにおいて、目標とするインフレとのギャップが用いられるが、ここでは Gürkaynak and Wright (2012) と同様、インフレ率を用いている

なお、アフィン型モデルの良い点は線形の形で表現できるだけでなく、カルマン・フィルタなどを用いれば簡単に推定できる点も指摘できる。アフィン型モデルについてより詳細に知りたい場合は、Gürkaynak and Wright (2012)、Diebold and Rudebusch (2013)、紅林 (2007)、菊池 (2010) などを参照されたい。

4. 市場分断仮説

4.1 市場分断仮説とは

市場分断仮説とは、年限ごとに異なる投資家が存在しており、年限間の市場が分断していることから、投資家の需給がイールドカーブに影響を与えるという理論である。日本についていえば、リスク管理の観点で、預金で資金調達を行う銀行は比較的短い国債を保有する一方、生命保険契約が負債サイドにある生命保険は比較的長い国債を購入する傾向がある。新聞記事やアナリストのレポートなどをみると、銀行や生保の投資行動により相場が説明されることが多いが、暗黙のうちに市場分断仮説が想定されている。学術研究では、特定の年限に投資する投資家を特定期間選好 (Preferred-habitat) と呼ぶことから、市場分断仮説 (market segmentation) より特定期間選好仮説 (Preferred-habitat theory) と呼ばれることのほうが多い。

需給に基づいた金利動向の説明は市場参加者の中で幅広く用いられているものの、学術研究では最近まであまり人気のない学説であった。もともと、古くは Modigliani and Sutch (1966, 1967) が、市場が分断化される中で投資家は特定の年限の債券へ投資することで、金利は特定年限の需要と供給によって定まるという議論を展開した。この学説が最近まで学術研究で人気がなかった理由は大きく分けて2つある。一つは、もし仮に市場が分断していたとしても、その市場を横断できる投資家が十分にいれば特定の年限を需要する投資家の投資行動が大きな影響を及ぼさない可能性があるためである。もう一点は、1960年代にFRBが短期金利を上昇させ、長期金利を低下させるというオペレーション・ツイストを実施したが、その効果について学術研究の見方は否定的であったことが挙げら

れる。

近年、市場分断仮説が活発に分析されているが、その背景には、2000年以降、投資家の需給がイールドカーブに影響を与えるとする実証研究が出てきたことがある。例えば、2000年から2001年にかけて米国財務省は長期国債の買入を実施したが、Bernanke et al. (2004) はこのオペレーションがイールドカーブに影響を与えたことを議論した。また、英国では特に長い期間の国債が発行されていることが知られているが、Greenwood and Vayanos (2010) は英国の超長期債の金利が低く推移している理由として、年金による特別な需要という観点で議論を行っている^{*34}。

リーマン・ブラザーズの破綻を発端とした世界金融危機以降、多くの中央銀行が量的緩和政策 (Quantitative Easing, QE) を行ったことは市場分断仮説の実証を行う上で恰好の材料を提供した。中央銀行による大規模な国債購入は、市場分断仮説の中で特定の投資家の需要として評価可能である。量的緩和政策を利用した実証研究は、まずはFRBを対象にすすめられた後 (Hamilton and Wu (2012)、D'Amico and King (2013) など)、QEの実施が相対的に遅れた欧州中央銀行 (European Central Bank, ECB) による資産購入の評価がなされた (Eser and Schwaab (2016)、Schlepper et al. (2019) など)。

市場分断仮説については、このような実証研究が進む一方、理論研究の発展も著しい。特にこの分野で重要な研究はVayanos and Vila (2009) およびGreenwood and Vayanos (2014) による研究である^{*35}。これらの研究では政府、特定の年限を選好する投資家、アービトラジャー (裁定を行う投資家) の3タイプの主体を想定する。政府は国債を発行する一方、投資家は特定の年限の国債を需要する (これは銀行が短い国債を購入し、生保が長い国債を保有することをモデル化して

*34) 英国国債の需給や年限については中対・村田 (2018) が包括的な分析を行っている。

*35) Hayashi (2018) はVayanos and Vila (2009) の離散型モデルについて分析している。

いるイメージである)。一方、すべての年限を横断的に投資するアービトラージャーが存在するが、その投資行動に一定の制約が課されていると想定する。その結果、投資する年限に制約を持たないアービトラージャーがイールドカーブ全体で裁定行動をとるため短期と長期の国債は関係性をもつ。もっとも、彼らの裁定行動に制限があることから、特定の年限を選好する投資家の投資行動がイールドカーブに影響を与える。

なお、投資家が国債に対して、金利以外の特別な需要を持つことを議論する研究も少なくない。例えば、Krishnamurthy and Vissing-Jorgensen (2012) は、流動性や安全性という観点で国債は貨幣の代替としての機能が大きく、通常のアセットプライシングのモデルではなく、需給を重視した分析を行っている。国債が安全な運用機会を与えているだけでなく、そのほかの機能を提供していることを学術研究で「コンピーニエンス」と呼ぶことがある^{*36}。しばしば市場参加者が「国債の担保需要」^{*37}という表現を使うこともあるが、この場合も金利以外の要因で国債が需要されることを指している。

4.2 日本における実証研究

4.2.1 ミクロデータを用いた市場分断仮説の検証

最後に、筆者が行った市場分断仮説の2つの研究の紹介を行う。これまで日本のデータを用いて市場分断仮説を検証した研究は複数存在するが^{*38}、Hattori (2019a) は初めてミクロデータ（国債の証券レベルのデータ）を用いて市場分断仮説を検証した。日銀は量的・質的金融緩和（Quantitative and Qualitative Monetary Easing, QQE）以降、年間80兆円近い国債を購入しており、この大規模な購入を国債価格に影響を与える需要要因ととらえることが可能である。特に、日銀の資産購入は他国の中央銀行よりその規模が大きいことから、日銀の購入以外の需要要因は相対的に小さく、市場分断仮説の検証により適した側面を持っている。筆者は日銀が「5-10年」など年限を

区切って購入することに着目し、日銀のオペレーションの対象銘柄が、対象外の銘柄に対して、有意な影響をもたらしているかを検証した。

因果推論を行うため、計量経済学上の工夫が必要であるが、筆者はオペレーションが事前にアナウンスメントされる期間にしばって分析を行うことで因果関係の識別を行っている。2017年3月以前は当日にオペレーションの有無が発表されていたが、2017年1-2月の市場の乱高下をうけ、それ以降は事前にどの年限の国債にオペレーションがあるかが公表されている。それゆえ、2017年3月以降であれば、日銀が当日の相場に反応してオペレーションを実施することは難しかったと考えられる^{*39}。

筆者の推定結果は、日銀のオペレーションの対象となった銘柄に対する有意な効果はあるものの、オペレーションの対象になった銘柄が他の銘柄に比して価格が十分に上がったかという点、その値上がり幅は相対的に小さいというものである。その一因として、米国のFRBがQEを行った金融危機以降に比べ、日銀がQQEを実施している期間は、多くの投資家が裁定行動を行いやすい投資環境にあったことから、仮に日銀が5-10年といった特定の年限を購入したとしても、機関投資家により1-5年などの国債へ投資する行動がとられるなどの裁定が働いていたこと等が考えられる。

4.2.2 流動性供給入札の効果

筆者が市場分断仮説との観点で注目した制度は財務省が実施する国債の流動性供給入札である。流動性供給入札とは、構造的に流動性が不足している銘柄や、需要の高まり等により一時的に流動性が不足している銘柄を追加発行する制度である。流動性を改善させる政策としては、中央銀行を中心に行っているレポなどがあるが^{*40}、我が国の場合、各国と同様、財務省が実施するリオープン制度の充実に加え、流動性供給入札も実施している。流動性供給入札は、残存1~5年・5年超15.5年以下・15.5年超のゾーンごとに国債供給を行う施策であることから、市場分断仮説の文脈で

*36) 福田・齋藤・高木 (2002) は1990年代後半の日本国債のコンピーニエンスについて分析を行っている。

*37) 国債の担保需要については、「第47回 国の債務管理の在り方に関する懇談会」における「国債市場の現状と国債への投資環境」などを参照されたい。

*38) Fukunaga et al. (2014)、須藤・田中 (2018)、宇野・戸辺 (2019) などを参照。

*39) オペレーションの当日、購入金額が変化する可能性については変数を追加することで対処している。

*40) 日銀による補完供給オペについてはHattori (2019c)、源間・稲村 (2019) を参照されたい。なお、1990年後半における短期金利と準備預金残高の流動性効果についての分析についてはHayashi (2001)、Uesugi (2002) などを参照されたい。

とられることもできる（国債市場の流動性については服部（2018）を参照されたい）。

Hattori（2019b）は上記の問題意識を踏まえ、初めて実証的に流動性供給入札の評価を行った研究である。日本国債については年末の国債発行計画によりおおむねその発行量が定まるほか、流動性供給入札については事前に発行量やスケジュールがアナウンスされる。Hattori（2019b）ではこの特徴を実証上の識別に用い、流動性供給入札が国債市場の流動性の改善へ寄与したことを指摘している。先進諸国ではリオープンを実施しており、我が国の流動性供給入札もその枠組みとして整理することもできるが、流動性供給入札は、対象年限が多いなどその他の先進諸国のリオープンには見られない特徴を有する*41。それゆえ、筆者は同制度が先進諸国やアジア諸国などにとって今後、活用の余地がある政策ではないか、と考えている。

5. おわりに

本稿ではイールドカーブの決定要因に関して主に、純粹期待仮説、流動性プレミアム仮説、市場分断仮説という点にフォーカスして概要を説明した。我が国については長期国債を直接コントロールする政策や新型オペ（指値オペ）の導入など新しい政策がとられている。金融危機以降、日銀にとどまらず、中央銀行による大規模な資産購入やマイナス金利政策など、新しい政策がとられたことから理論・実証研究が大幅に進んでおり、イールドカーブに関する研究はこれまでにない広がりを見せているといえる。

また、金融危機やLIBOR不正問題等を受け、金融

規制が大幅に変化したことも債券市場に多大な影響をもたらした。国債と関係性が強い金利スワップについては、国債金利とスワップレートのスプレッド（いわゆるアセットスワップ・スプレッド）がマイナスになったことなど*42について膨大な研究が進んでいる（アセットスワップについてはBOX 3を参照）。また、為替スワップや通貨スワップは外国人投資家による日本国債への投資という観点で円債との関係が強いが、金融危機以降、国際金融のテキストで長年成立されていると説明されていたカバー付き金利平価が成立していないという指摘がなされており、これについても近年の金融規制の影響が大きい（近年の為替スワップや通貨スワップの動きについては服部（2017）を参照）。

最後に筆者がペンシルベニア州立大学の吉田二郎准教授と行った日銀によるイールドカーブ・コントロール政策についての研究を紹介したい。雨宮（2017）が指摘しているとおり、日銀の現在の政策は1940年代に米国で実施された国債価格支持政策と一定の類似性を持っている。Hattori and Yoshida（2019）はこの点に着目し、米国での既存学術研究をベースに日本のデータを用いて検証を行っているが、学術的な実証分析という観点でも日本の金融政策は1940年代の米国との類似性をもっており、雨宮（2017）と整合的な結果を得ている。既存研究に対する筆者らの新規性は1940年代の米国に対して、より質の高いデータを用いて指値オペを評価している点などである。同研究は筆者らが知る限り、日銀によるイールドカーブ・コントロール政策についての最初の学術研究であるが、今後我が国に関する研究がますます必要になると考えられる。

BOX 3 アセットスワップとは

アセットスワップとは「国債のロング（ショート）」と国債と同年限の「金利スワップのペイ（レシーブ）」*43を同時に行う投資行動であり、パッケージ商品としても流通している。国債と金利スワップはそれぞれ需給構造などに違いがあるものの、非常に類似性が高い。「金利スワップのペイ（レシーブ）」と

*41) 流動性供給入札に類似する制度は、フランスやイギリスなどでも存在している点には留意が必要。たとえばフランスには市場参加者へのヒアリングをベースに債務管理当局が入札の候補となる銘柄を決定し、その銘柄に対して入札を実施するという制度がある。

*42) 例えば、Jermann（2019）などを参照。

*43) 金利スワップのペイ（レシーブ）は固定金利払い・変動受け（固定金利受け・変動払い）を指す。例えば、10年の金利スワップをペイ（レシーブ）するとは、10年間、固定金利を払い（受け）、変動金利（典型的には6か月円LIBOR）を受ける（支払う）ポジションである。一方、国債を保有する場合、固定金利を受ける一方、調達コスト（典型的にはレボ・コスト）を支払うため、国債のロングは固定金利・変動払いと解釈することができる。金利スワップについては、杉本・福島・若林（2016）などを参照。

は金利上昇によりキャピタル・ゲイン（キャピタル・ロス）を得るポジションである一方、国債のロング（ショート）は金利上昇によりキャピタル・ロス（キャピタル・ゲイン）を得る取引である。それゆえ、その両者を同時に行うことで金利変動をキャンセルする投資行為と解釈できる。アセットスワップの買い（売り）は国債と金利スワップの間の裁定行動でもあるため、アセットスワップは国債市場と密接な関係を有する。

参考文献

- [1]. 雨宮正佳 (2017)「イールドカーブ・コントロールの歴史と理論」『金融市場パネル40回記念コンファレンス』における講演
- [2]. アラン・ブラインダー (2008)「中央銀行の「静かなる革命」」日本経済新聞出版社
- [3]. 一上響・上野陽一 (2013)「ゼロ金利下におけるタームプレミアム推計：日米英の長期金利の分析」日本銀行ワーキングペーパーシリーズ No.13-J-6
- [4]. 市川達夫・飯星博邦 (2011)「金利の期間構造モデルによる景気一致指数の予測：アフィン型マクロファイナンスモデルによる接近」日本統計学会誌、シリーズJ 40 (2) 111-145
- [5]. 宇野淳・戸辺玲子 (2019)「中央銀行の国債保有と金利期間構造」IMES Discussion Paper Series 2019-J-9
- [6]. 菊川匡・内山朋規・本廣守・西内翔 (2017)「国内債券アクティブ運用のパフォーマンスとスマートベータ戦略」証券アナリストジャーナル 55 (2), 69-80.
- [7]. 菊池健太郎 (2010)「長期金利変動のファクター分解」No.10-J-15 日本銀行ワーキングペーパーシリーズ
- [8]. 紅林孝彰 (2007)「近年のアフィン型イールド・カーブ・モデルの展開：マクロ・ファイナンスへの応用、ジャンプや信用リスクの取り込み」『金融研究』日本銀行金融研究所
- [9]. 作道俊夫 (2010)「金利のリスク・プレミアム」証券アナリストジャーナル48 (8), 5-13.
- [10]. 杉本浩一・福島良治・若林公子 (2016)「スワップ取引のすべて (第5版)」きんざい
- [11]. 源間康史・稲村保成 (2019)「国債市場における銘柄間の相対価格差について」日本銀行ワーキングペーパーシリーズ No.19-J-8
- [12]. 須藤直・田中雅樹 (2018)「日本における市場分断・特定期間選好仮説のDSGEモデルによる検証—ストック効果とフロー効果の定量比較を中心に—」日本銀行ワーキングペーパーシリーズ No.18-J-9
- [13]. 中対剛・村田大介 (2018)「イギリスの平均償還年限とその背景—国債の需要と供給両面からの分析」PRI Discussion Paper Series (No.18A-09)
- [14]. 服部孝洋 (2017)「ドル調達コストの高まりとカバー付き金利平価」ファイナンス10月号、56-63.
- [15]. 服部孝洋 (2018)「市場流動性の測定—日本国債市場を中心に」ファイナンス2月号、67-76.
- [16]. 福田祐一・齊藤誠・高木真吾 (2002)「国債の価格形成とコンパニエンス：1990年代後半の日本国債のケース」齊藤誠・柳川範之（編著），流動性の経済学，東洋経済新報社。
- [17]. 藤井真理子・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」『FSA リサーチ・レビュー』第4号。
- [18]. 三菱東京UFJ銀行円貨資金証券部 (2012)「国債のすべて—その実像と最新ALMによるリスクマネジメント」きんざい
- [19]. 三宅裕樹・服部孝洋 (2006)「イールド・カーブ推定の動向—日本における国債・準ソブリン債を中心に—」ファイナンス11月号、65-71.
- [20]. 山田聡 (2000)「日本国債のリスク・プレミアムと投資戦略への応用」証券アナリストジャーナル 38 (12), 32-62.
- [21]. Ang, Andrew. 2014. "Asset Management: A Systematic Approach to Factor Investing." Oxford Univ Press.
- [22]. Ang, Andrew, and Monika Piazzesi. 2003. "A No-Arbitrage Vector Autoregression of Term Structure Dynamics with Macroeconomic and Latent Variables." *Journal of Monetary Economics*50 (4) : 745-787.
- [23]. Ang, Andrew, Geert Bekaert, and Min Wei. 2008. "The Term Structure of Real Rates and Expected Inflation." *Journal of Finance*63 (2) : 797-849.
- [24]. Bekaert, Geert, and Robert J. Hodrick. 2001. "Expectations Hypotheses Tests." *Journal of Finance*56 (4) : 1357-1394.
- [25]. Bekaert, Geert, Robert J. Hodrick, and David A. Marshall. 2001. "Peso Problem Explanations for Term Structure Anomalies." *Journal of Monetary Economics* 48 (2) : 241-270.
- [26]. Bernanke, Ben S., Vincent R. Reinhart, and Brian P. Sack. 2004. "Monetary Policy Alternatives at the Zero Bound: An Empirical Assessment." *Brookings Papers on Economic Activity*2 : 1-78.
- [27]. Campbell, John Y. 1986. "Bond and Stock Returns in a Simple Exchange Model." *Quarterly Journal of Economics*101 (4) : 785-803.
- [28]. Campbell, John Y. 1995. "Some Lessons from the Yield Curve." *Journal of Economic Perspectives*9 (3) : 129-152.
- [29]. Campbell, John Y., and Robert J. Shiller. 1991. "Yield Spreads and Interest Rate Movements: A Bird's Eye View." *Review of Economic Studies*58 (3) : 495-514.
- [30]. Campbell, John Y, Andrew W. Lo, and Archie Craig Mackinlay. 1996. "The Econometrics of Financial Markets." Princeton Univ Press.
- [31]. Christensen, Jens H. E., Francis X. Diebold, and Glenn D. Rudebusch. 2007. "The Affine Arbitrage-Free Class of Nelson-Siegel Term Structure Models." Federal Reserve Bank of San Francisco Working Paper 2007-20.
- [32]. Cochrane, John H., and Monika Piazzesi. 2005. "Bond Risk Premia." *American Economic Review*95 (1) : 138-160.
- [33]. Cochrane, John H., and Monika Piazzesi. 2008. "Decomposing the Yield Curve." Unpublished.
- [34]. D'Amico, Stefania, and Thomas B.King. 2013. "Flow and stock effects of large-scale treasury purchases: Evidence on the importance of local supply." *Journal of Financial Economics*108 (2) : 425-448.
- [35]. Diebold, Francis X., and Glenn D. Rudebusch. 2013. "Yield Curve Modeling and Forecasting: The Dynamic Nelson-Siegel Approach." Princeton University Press.
- [36]. Eser, Fabian, and Bernd Schwaab. 2016. "Evaluating the impact of unconventional monetary policy measures: Empirical evidence from the ECB's Securities Markets Programme." *Journal of Financial Economics*119 (1) : 147-167.

- [37]. Fama, Eugene F., and Robert R. Bliss. 1987. "The Information in Long-Maturity Forward Rates." *American Economic Review* 77 (4) : 680–692.
- [38]. Froot, Kenneth A. 1989. "New Hope for the Expectations Hypothesis of the Term Structure of Interest Rates." *Journal of Finance* 44 (2) : 283–305.
- [39]. Fukunaga, Ichiro, Naoya Kato, and Junko Koeda. 2015. "Maturity Structure and Supply Factors in Japanese Government Bond Markets." *Monetary and Economic Studies*, 33, Institute for Monetary and Economic Studies, Bank of Japan : 45–95.
- [40]. Greenwood, Robin, and Dimitri Vayanos. 2010. "Price Pressure in the Government Bond Market." *American Economic Review* 100 (2) : 585–590.
- [41]. Greenwood, Robin, and Dimitri Vayanos. 2014. "Bond Supply and Excess Bond Returns." *Review of Financial Studies* 27 (3) : 663–713.
- [42]. Gürkaynak, Refet S, and Jonathan H. Wright. 2012. "Macroeconomics and the Term Structure." *Journal of Economic Literature* 50 (2) : 331–367.
- [43]. Greenwood, Robin, and Dimitri Vayanos. 2010. "Price Pressure in the Government Bond Market." *American Economic Review* 100 (2) : 585–590.
- [44]. Hamilton, James D., and Wu, Jing Cynthia. 2012. "The Effectiveness of Alternative Monetary Policy Tools in a Zero Lower Bound Environment." *Journal of Money, Credit and Banking* 44 (s1) : 3–46.
- [45]. Hattori, Takahiro. 2017. "The Predictive Power of the Implied Volatility of Interest Rates : Evidence from USD, EUR, and JPY Swaption." *The Journal of Fixed Income* 27 (1) : 67–76.
- [46]. Hattori, Takahiro. 2019a. "The impact of quantitative and qualitative easing with yield curve control on the term structure of interest rates : Evidence from micro-level data." Working Paper.
- [47]. Hattori, Takahiro. 2019b. "Do Liquidity Enhancement Auctions improve the Market Liquidity in the JGB market?" *Economics Letters*, forthcoming.
- [48]. Hattori, Takahiro. 2019c. "J-Liquidity Measure : The Term Structure of the Liquidity Premium in Japan." *Japan and the World Economy* 49 : 61–72.
- [49]. Hattori, Takahiro, and Jiro Yoshida. 2019. "Return of the Bond-Price Support Regime : Bank of Japan's Dual Bond-Purchase Program." Working Paper.
- [50]. Hayashi, Fumio. 2001. "Identifying a Liquidity Effect in the Japanese Interbank Market." *International Economic Review* 42 (2) : 287–316.
- [51]. Hayashi, Fumio. 2018. "Computing equilibrium bond prices in the Vayanos-Vila model." *Research in Economics* 72 (2) : 181–195.
- [52]. Jermann, Urban. 2019. "Negative Swap Spreads and Limited Arbitrage." *Review of Financial Studies*, forthcoming.
- [53]. Kim, Don H., and Jonathan H. Wright. 2005. "An Arbitrage-Free Three-Factor Term Structure Model and the Recent Behavior of Long-Term Yields and Distant-Horizon Forward Rates." Board of Governors of the Federal Reserve System Finance and Economics Discussion Paper 2005-33.
- [54]. Krishnamurthy, Arvind, and Annette Vissing-Jorgensen. 2012. "The Aggregate Demand for Treasury Debt." *Journal of Political Economy* 120 (2) : 233–267.
- [55]. Langetieg, Terence C. 1980. "A Multivariate Model of the Term Structure." *Journal of Finance* 35 (1) : 71–97.
- [56]. Longstaff, Francis A. 2000. "The Term Structure of Very Short-Term Rates : New Evidence for the Expectations Hypothesis." *Journal of Financial Economics* 58 (3) : 397–415.
- [57]. Lutz, Friedrich A. 1940. "The Structure of Interest Rates." *The Quarterly Journal of Economics* 55 (1) , 36–63.
- [58]. Modigliani, Franco, and Richard Sutch. 1966. "Innovations in Interest Rate Policy." *American Economic Review* 56 (2) : 178–197.
- [59]. Modigliani, Franco, and Richard Sutch. 1967. "Debt Management and the Term Structure of Interest Rates : An Empirical Analysis of Recent Experience." *Journal of Political Economy* 75 (4) : 569–589.
- [60]. Oda, Nobuyuki, and Kazuo Ueda. 2007. "The Effects of the Bank of Japan's Zero Interest Rate Commitment and Quantitative Monetary Easing on the Yield Curve : A Macro-Finance Approach." *Japanese Economic Review* 58 (3) : 303–328.
- [61]. Rudebusch, Glenn D. 1995. "Federal Reserve Interest Rate Targeting, Rational Expectations, and the Term Structure." *Journal of Monetary Economics* 35 (2) : 245–274.
- [62]. Rudebusch, Glenn D., Brian P. Sack, and Eric T. Swanson. 2007. "Macroeconomic Implications of Changes in the Term Premium." *Federal Reserve Bank of St. Louis Review* 89 (4) : 241–269.
- [63]. Schlepper, Kathi, Heiko Hofer, Ryan Riordan, and Andreas Schrimpf. 2019. "The Market Microstructure of Central Bank Bond Purchases." *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, forthcoming.
- [64]. Smith, Josephine M., and John B. Taylor. 2009. "The Term Structure of Policy Rules." *Journal of Monetary Economics* 56 (7) : 907–917.
- [65]. Svensson, Lars. 1995. "Estimating Forward Interest Rates with the Extended Nelson and Siegel Method." *Sveriges Riksbank Quarterly Review* 3 (1) : 13–26.
- [66]. Uesugi, Ichihiro. 2002. "Measuring the Liquidity Effect : The Case of Japan." *Journal of the Japanese and International Economies* 16 (3) : 289–316.
- [67]. Vayanos, Dimitri, and Jean-Luc Vila. 2009. "A Preferred-Habitat Model of the Term Structure of Interest Rates." London School of Economics Paul Woolley Centre Working Paper 6.