

バーゼルⅢ適格Additional Tier 1 債券(AT1債)に対する プライシングモデルの設定と実証分析 — 構造型モデルによるアプローチ —

一橋大学大学院国際企業戦略研究科

金融戦略・経営財務コース

杉山 泰平

本発表は著者が独自に作成したものであり, 本発表にて述べる見解は著者個人のものである. 所属する勤務先の見解を示すものではない.

本論文の概要

金融機関が発行するハイブリッド証券の一種である「バーゼルⅢ適格Additional Tier 1債券(AT1債)」について、先行研究を拡張したプライシングモデルの設定と、実際に発行された日欧二つの債券を用いた実証分析の結果およびその考察について述べたもの

【前半部分:プライシングモデルの設定】

構造型モデル (Structural Model)

企業の資産価値(Asset Value)を確率微分方程式で定式化し、資産価値が事前に定めた閾値を下回った時刻、およびその際に発生するイベントの様態によって、債券のクレジットリスクを特徴付けるモデル

【後半部分:モデルを適用した実証分析】

実証分析に用いた発行体とAT1債

三菱UFJフィナンシャルグループ (MUFG) : 邦銀FGによって発行されたAT1債

バンコ・ポプラール・エスパニョール (POP.MC) : 2017年6月の破綻処理に伴い元本が全額削減されたAT1債

AT1債の概要

銀行の国際的な自己資本規制であるバーゼルⅢにおいて、Additional Tier1資本に算入可能な債券

普通社債と比較して高水準のクーポンが設定されている一方、契約に定められた様々な条項によって、発行体がデフォルトしていなくとも、債券元本の毀損や利払いの制限が発生する可能性がある

【AT1債に付される主な条項】

強制的な元本削減・ 株式転換トリガー条項	財務トリガー (Accounting Trigger)	事前に定めた発行体の財務指標の閾値に抵触すると 債券の元本削減, ないしは株式への転換が発動
	PONVトリガー (Point Of Non-Viability Trigger)	発行体を監督する規制当局の決定によって 債券元本の削減, ないしは株式への転換が発動
発行体が有する オプション条項	償還時期の不確実性 (Extension Risk)	AT1債は永久債であることが要件 初回償還可能日に償還されないリスク
	利払い消滅リスク (Coupon Cancellable Risk)	AT1債は発行体に利払い裁量を認めることが要件 投資家の受取利息額が減少してしまうリスク

本論文の問題設定と成果

設定した課題

- ① AT1債の特徴を, AT1債の投資家がさらされている**クレジットリスク**の観点からどのように整理できるか
- ② 発行体と投資家が持ち得る**情報の差異**をプライシングに反映させることでどのような示唆が得られるか
- ③ 算出された**モデル価格と市場価格を比較**することでどのような示唆が得られるか

【分析上の成果】

1. AT1債の有する**各種トリガー条項**がAT1債の条件付消滅確率を高め, **AT1債モデル価格を引き下げる効果をもたらしている**ことを可視化した.
2. 発行体について**不完全な情報**しか得られない状況で算出されるモデル価格が, **特にAT1債において, 完全情報の下で算出されるモデル価格からかけ離れた値**となってしまう**リスク**について可視化した.
3. モデル価格と市場価格を比較することで, **モデル価格を基準に市場価格の水準や挙動について考察を与える**ことや, **クレジットリスクだけでは説明の難しい要因**によってAT1債の市場価格が変動する**リスク**について認識することが可能となった.

プライシングモデルの設定

構造型モデル (Structural Model):

企業の資産価値(Asset Value)を確率微分方程式で定式化し, 資産価値が**事前に定めた閾値を下回った時刻**および**その際に発生するイベント**によって, 債券のクレジットリスクを特徴付けるモデル

【主要先行研究】

- Black and Cox (1976) : **初期到達時刻モデル**(First Passage Time Model)を提唱 (Merton(1974)の拡張)
- Rösler(2016) : **CET1 (Common Equity Tier 1) 比率過程**を導入し, AT1債の財務トリガーを表現
- Duffie and Lando(2001)など : 企業内部者と投資家との**情報の非対称性**に言及(「会計情報の不完全性」)

【プライシングの手順】

- (1) デフォルトやAT1債の各種トリガー条件を**停止時刻(stopping time)**で特徴付ける
- (2) 発行体の資産価値およびCET1比率について**確率過程(stochastic process)**を導入する
- (3) 債券の**生存確率(survival probabilities)**を求め, プライシング公式からモデル価格を算出する

プライシングモデルの設定

(1) デフォルトやAT1債の各種トリガー条件を**停止時刻(stopping time)**で特徴付ける

「事前に定めた**閾値(threshold)**に抵触した**時刻**で、**債券元本を全額削減**させる」というルールを設定

【停止時刻の概要】

- デフォルト時刻 (τ):

発行体の**資産価値**が負債価値を下回るか否かを**常に確認**

cf.) Black=Cox(1976)

- 財務トリガー抵触時刻 ($\theta_{Acc}, \theta_{Acc|PONV}$):

発行体の**CET1比率**が事前に定められた比率を下回るか否かを**年4回(四半期決算)確認**

cf.) Rösler(2016)

- PONVトリガー抵触時刻 (θ_{PONV}):

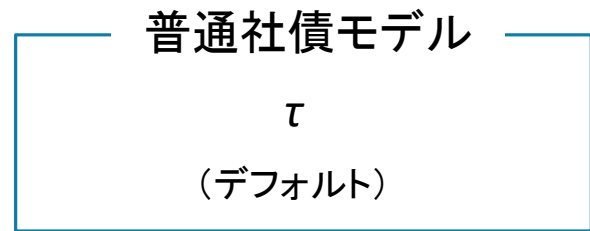
発行体の**資産価値あるいはCET1比率**が**モデル設定者の定めた閾値**を下回るか否かを**常に確認**

また、「デフォルト発生よりも前にPONVトリガーに抵触する」という制約を付与

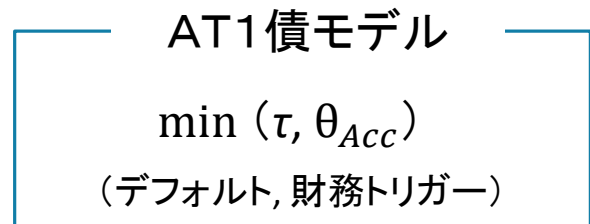
プライシングモデルの設定

(1) デフォルトやAT1債の各種トリガー条件を**停止時刻(stopping time)**で特徴付ける

停止時刻の条件を変化させることで、普通社債とAT1債のプライシングモデルをそれぞれ設定する



cf.) Black=Cox(1976)



cf.) Rösler(2016)

完全情報モデル

$(\Omega, \mathcal{G}, (G_t)_{t \in [0, \infty)}, \mathbb{Q}$

全ての確率過程の挙動が把握できているという前提

補足

\mathbb{Q} : リスク中立確率



プライシングモデルの設定

(2) 発行体の資産価値およびCET1比率について**確率過程(stochastic process)**を導入する

【資産価値過程】

$$V = (V_t)_{t \in [0, \infty)}$$

資産価値過程が以下のSDEに従うと仮定：

$$dV_t = (r - \delta) V_t dt + \sigma_V V_t dW_t.$$

【CET1比率過程への変換式】

$$\log(CET1R_t) = c + d \log\left(\frac{V_t - K}{\beta V_t}\right).$$

cf.) Rösler(2016)

【CET1比率過程】

$$CET1R = (CET1R_t)_{t \in [0, \infty)}$$

補足

r : リスクフリーレート

δ : 資産価値の外部流出率

σ_V : 資産価値のボラティリティ

W : 標準ブラウン運動

K : 発行体の負債価値(固定値)

c, d, β : CET1比率過程変換式パラメータ

プライシングモデルの設定

(2) 発行体の資産価値およびCET1比率について確率過程(stochastic process)を導入する

不完全情報モデル: 資産価値(V_t)およびCET1比率 ($CET1R_t$)の値を正確に観測できないという仮定



不完全情報フィルトレーションによる定式化

完全情報モデル

(G_t): 完全情報フィルトレーション

資産価値(V_t)およびCET1比率
($CET1R_t$) は (G_t)-適合

【AT1債プライシングモデル評価における停止時刻の条件付分布】

$Q(s < \text{"停止時刻"} | G_t)$ と表現

正確な資産価値を
リアルタイムに把握可能
 V_0 は固定値(真の値)

不完全情報モデル

(H_t): 不完全情報フィルトレーション

資産価値(V_t)およびCET1比率
($CET1R_t$) は (H_t)-適合ではない

$Q(s < \text{"停止時刻"} | H_t)$ と表現

正確な資産価値は
リアルタイムでは把握不可能
 V_0 は確率変数(事前分布を設定)

cf.) Duffie and Lando (2001)

※ 構造型モデル+不完全情報の嚆矢
と言われる論文.

発行体の内部者が自社の資産価値を
正確に把握できるのに対し, 投資家は,
発行体の資産価値に関する情報として
会計情報を利用することができるが,
会計情報には誤差やラグ等が存在
しているため, 「資産価値+何か」にて
表現される「資産価値に関連した情報」を
観測することができるに過ぎない.

事前分布

$(V_0 - K) \sim \text{LN}(\log(V_0 - K), \sigma_{AN})$

σ_{AN} : 会計情報ノイズ cf.) Frey et al. (2014)

プライシングモデルの設定

(3) 債券の生存確率(survival probabilities) を求め、プライシング公式からモデル価格を算出する

cf.) Rösler(2016)

完全情報モデル

普通社債モデル
(デフォルト)

$$P_t^{Def} = \sum_{i=1}^l 1_{\{t \leq t_i\}} e^{-r(t_i-t)} c_i \mathbb{Q}(t_i < \tau | G_t) + 1_{\{t \leq T\}} e^{-r(T-t)} N \mathbb{Q}(T < \tau | G_t)$$

AT1債モデル
(デフォルト, 財務トリガー)

$$P_t^{Def, Acc} = \sum_{i=1}^l 1_{\{t \leq t_i\}} e^{-r(t_i-t)} c_i \mathbb{Q}(t_i < \min(\tau, \theta_{Acc}) | G_t) + 1_{\{t \leq T\}} e^{-r(T-t)} N \mathbb{Q}(T < \min(\tau, \theta_{Acc}) | G_t)$$

AT1債モデル
(財務トリガー, PONVトリガー)

$$P_t^{Acc, PONV} = \sum_{i=1}^l 1_{\{t \leq t_i\}} e^{-r(t_i-t)} c_i \mathbb{Q}(t_i < \min(\theta_{Acc|PONV}, \theta_{PONV}) | G_t) + 1_{\{t \leq T\}} e^{-r(T-t)} N \mathbb{Q}(T < \min(\theta_{Acc|PONV}, \theta_{PONV}) | G_t)$$

補足

l : 時点 $t=0$ から債券の満期 T までに
利息の支払いが発生する回数
 t_i : 時点 $t=0$ から満期 T までに i 回目の
利息の支払いが発生した時点
 c_i : t_i における利息支払額
 N : 債券元本額

不完全情報モデル

AT1債モデル
(財務トリガー, PONVトリガー)

$$P_t^{Acc, PONV, Imperfect} = \sum_{i=1}^l 1_{\{t \leq t_i\}} e^{-r(t_i-t)} c_i \mathbb{Q}(t_i < \min(\theta_{Acc|PONV}, \theta_{PONV}) | H_t) + 1_{\{t \leq T\}} e^{-r(T-t)} N \mathbb{Q}(T < \min(\theta_{Acc|PONV}, \theta_{PONV}) | H_t)$$

日欧AT1債の実証分析

債券のプライシングに際して**重要な契約条件を抽出**するとともに、モデルの設定と契約条件との**乖離点を認識**

項目	三菱UFJフィナンシャルグループ MUFG_AT1債: 契約条件の概要	バンコ・ポプラー・エスパニョール POP.MC_AT1債: 契約条件の概要	モデル設定と契約条件との 重要な乖離点
ISIN	JP390290AFF7	XS1189104356	—
満期	なし (初回償還可能日:2020年7月15日)	なし (初回償還可能日:2020年4月10日)	モデルは初回償還可能日を満期として設定
利払い条件	【頻度】年2回 【利率】初回償還可能日まで 固定金利年2.70% 初回償還可能日より後は変動金利 6カ月ユーロ円LIBOR + 2.40%	【頻度】年4回 【利率】初回償還可能日まで 固定金利年8.25% 初回償還可能日より後は変動金利 5年ユーロスワップ金利 + 8.179%	モデルは初回償還可能日までの固定金利を利率として設定
財務トリガー	あり 財務トリガーの閾値： CET1比率5.125%	あり 財務トリガーの閾値： CET1比率7.000%	モデルは年4回(四半期決算) 財務トリガー抵触の有無を確認
PONVトリガー	あり	あり	モデルはPONVトリガー閾値 K_{PONV} を分析者が決定(後記)
利払い 消滅リスク	あり	あり	モデルは利払い消滅リスクを 反映させていない

モデル価格

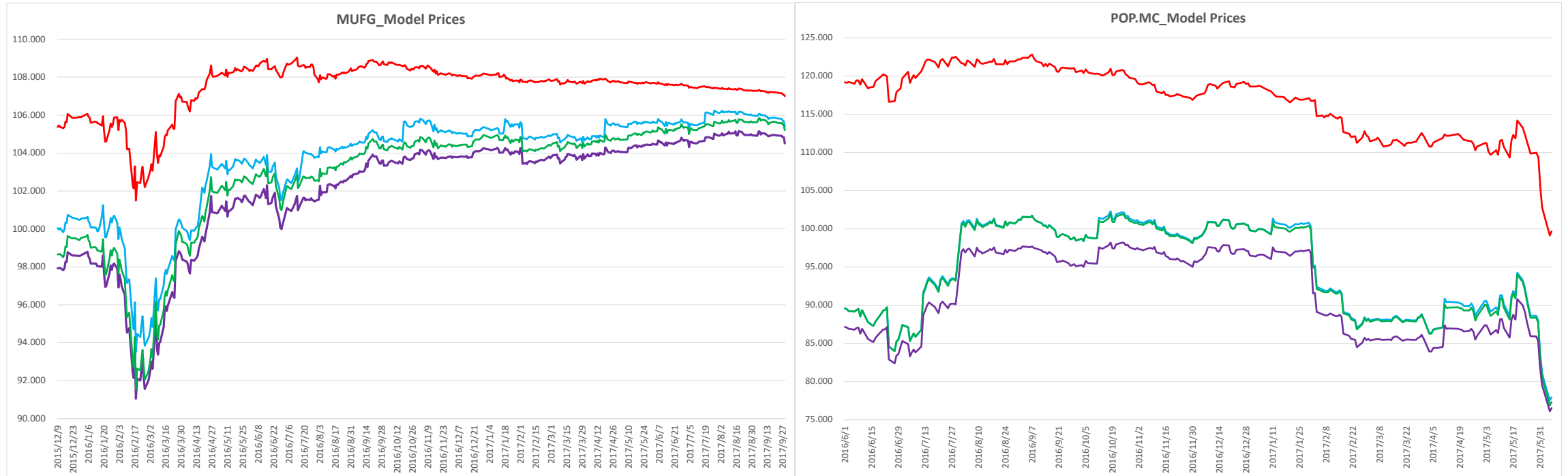
赤: 完全情報・普通社債モデル(デフォルト)

青: 完全情報・AT1債モデル(デフォルト, 財務トリガー)

緑: 完全情報・AT1債モデル(財務トリガー, PONVトリガー)

紫: 不完全情報・AT1債モデル(財務トリガー, PONVトリガー)

会計情報ノイズ(σ_{AN})
MUFG:10% POP.MC:25%



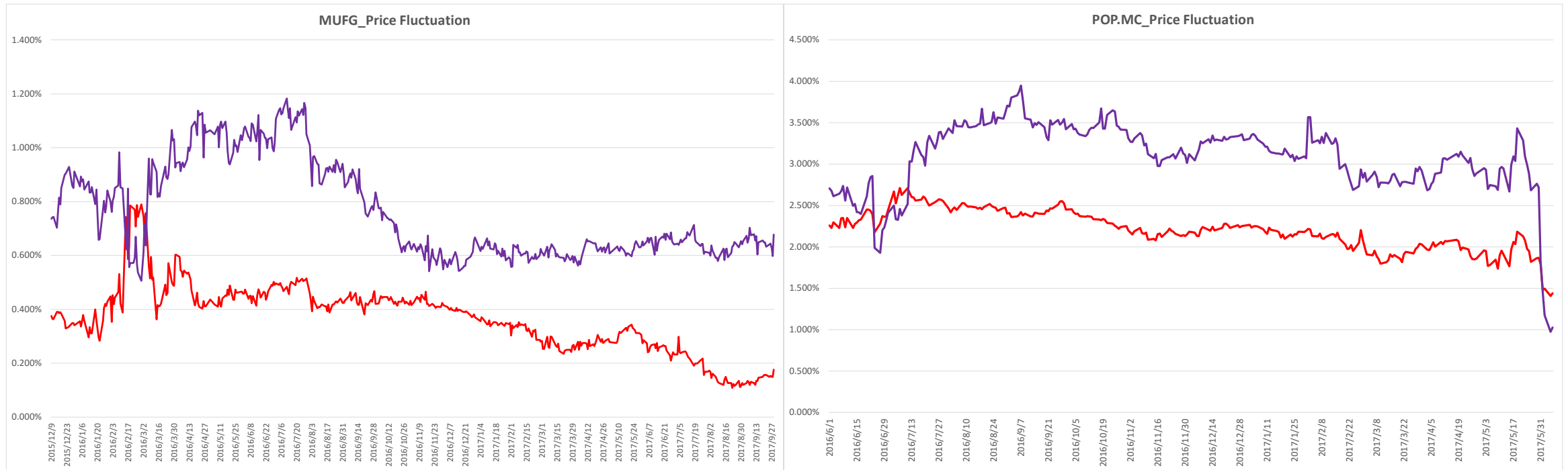
- 完全情報の前提の下で, 普通社債モデル価格(赤)よりもAT1債モデル価格(青・緑)の水準の方が低い. AT1債の有する各種トリガー条項がAT1債の条件付消滅確率を高め, AT1債モデル価格を引き下げる効果をもたらしていることを確認.
- モデル価格の水準に加えて, 分析期間におけるモデル価格の変動具合や推移の様態についても差異があることを示唆.
- 「デフォルトよりもPONVトリガー抵触が必ず先に到来する」という条件付けにより, AT1債モデル価格(青・緑)間に差異が発生.
- 不完全情報下で算出されたモデル価格(紫)は, 完全情報下で算出されたモデル価格の水準(緑)をさらに押し下げる結果に.

情報の差異がもたらすモデル価格の変動

赤: 普通社債モデル(デフォルト)における情報の差異がもたらすモデル価格変動率

紫: AT1債モデル(財務トリガー, PONVトリガー)における情報の差異がもたらすモデル価格変動率

会計情報ノイズ(σ_{AN})
MUFG:10% POP.MC:25%



- 不完全情報の前提の下で算出されたモデル価格が、完全情報の前提の下で算出されたモデル価格からどの程度変動(下落)するのかを普通社債のモデル価格とAT1債のモデル価格とで比較したところ、リスクフリーレート対比でCDSスプレッドが高水準であった期間を除いて、概してAT1債の価格変動率(紫)の方が普通社債の価格変動率(赤)よりも高くなるという結果に。
- 当該結果は、発行体について不完全な情報しか得られない状況で算出されるモデル価格が、特にAT1債において、完全情報の前提の下で算出されるモデル価格から著しくかけ離れた値になってしまうリスクがあることを示唆。

モデル価格と市場価格

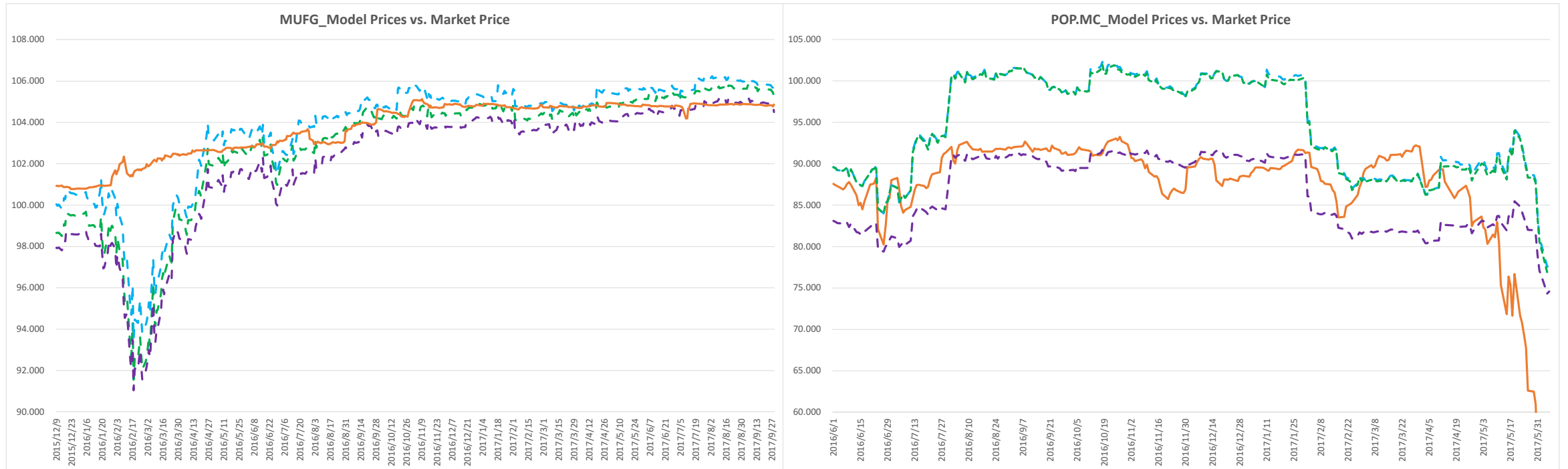
橙: AT1債市場価格

緑: 完全情報・AT1債モデル(財務トリガー, PONVトリガー)

青: 完全情報・AT1債モデル(デフォルト, 財務トリガー)

紫: 不完全情報・AT1債モデル(財務トリガー, PONVトリガー)

会計情報ノイズ(σ_{AN})
MUFG:10% POP.MC:50%



- MUFG_AT1債: キャリブレーションに用いたBTMUのCDSスプレッドが急騰した2016年2月・3月を除き,モデル価格(青・緑・紫)は市場価格(橙)の推移に対してある程度整合的に算出. また,モデル価格対比でみた市場価格の割高感は徐々に解消方向に.
- POP.MC_AT1債: 会計情報ノイズ(σ_{AN})の値をチューニング(25%⇒50%)したことで,モデル価格(紫)は水準・挙動ともに2017年2月中旬頃までは市場価格(橙)の推移に対してある程度整合的に算出. その後,市場価格はモデル価格に比して乱高下し,最終的にPOP.MCは破綻処理へ. 分析期間末期はクレジットリスクが流動性リスクに波及し大幅に市場価格が下落した可能性.

まとめ

- 本論文のAT1債プライシングモデルは, AT1債の市場価格を「当てる」ことを目的とするものではない
 - 本論文のモデルは, 財務データや市場データ, AT1債の契約条件によってもたらされるクレジットリスクの一部を反映させたものである一方, 現実のAT1債の市場価格は, 本論文のモデルに織り込まれた要素のみを反映して決定されている訳ではない
 - むしろ, モデル価格が示唆する事象を読み取ることや, モデル価格と市場価格を比較することを通して, 主にクレジットリスクの観点からAT1債の特徴について理解を深めていくことを主眼としている
- 停止時刻の条件を変化させることで, 「発行体が持つオプション条項」の概念についてもモデルに導入可能
 - ただし, モデル設定者が独自に決定する要素が多くなりすぎてしまうと, モデル価格の解釈が困難になる恐れが生じる
 - 複雑な構造を有する金融商品のプライシングモデルを設定する際には, どのような特徴をモデルに組み込むべきか, また逆に, どのような特徴を「組み込んでいないか」をモデル使用者と共有することが重要である
- 本論文の追加的な課題として, 「B3T2債(バーゼルⅢ適格Tier2債券)」や「TLAC債(Total Loss-Absorbing Capacity, 総損失吸収能力)」といった他のハイブリッド債券への応用などが挙げられる

主要参考文献

- Black, F. and Cox, J.C. “Valuing corporate securities: Some effects of bond indenture provisions” *Journal of Finance*, 31:351–367, 1976.
- Duffie, D. and Lando, D. “Term structure of credit risk with incomplete accounting information” *Econometrica*, 69:633-664, 2001.
- Frey, R. and Rösler, L. and Lu, D. “Corporate Security Prices in Structural Credit Risk Models with Incomplete Information” <http://statmath.wu.ac.at/~frey/publications/corporate-security-dynamics.pdf>, 2014.
- Frey, R. and Schmidt, T. “Pricing corporate securities under noisy asset information” *Mathematical Finance*, 19:403-421, 2009.
- McNeil, A.J. and Frey, R. and Embrechts, P. “Quantitative Risk Management” Princeton University Press, 2nd edition, 2015.
- Merton, R. C. “On the pricing of corporate debt: the risk structure of interest rates” *Journal of Finance*, 29:449-470, 1974.
- Rösler, L. “Stochastic Filtering in Pricing and Credit Risk Management” PhD thesis, TU Wien, <http://katalog.ub.tuwien.ac.at/AC13002123>, 2016.