

グリーンボンド・プレミアム は存在するのか？：

グリーンボンド・パフォーマンス分析の試論

2019年3月1日

高崎経済大学

准教授 宮田・佐藤

研究の目的

- グリーンボンドと、いわゆる通常の債券（シニア普通社債に代表されるプレーン・バニラ債）を比較し、発行市場および流通市場における価格形成の在り方について差異の有無を統計的に検証。
- ①「グリーンプレミアムの存在の有無」、②グリーンボンドと非グリーンボンドのパフォーマンスに差がある場合には、どういった要因によるものか、について学術的に検証。

研究の方法

- 金融市場データを対象として統計分析を行うことで、グリーンボンドと非グリーンボンドの価格形成および市場パフォーマンスの検証を試みる。
- 要因分析に対しては重回帰分析を、時系列データに対する定常性の検定として拡張デッキーフラー検定(Dickey and Fuller 1979), 非定常性の検定としてKPSS検定を用いる。
- グリーンボンドの金融市場データ抽出にあたっては、情報端末ブルンバーグを利用。

分析事例 1：EIBのグリーンボンド vs 非グリーンボンド債比較

- 分析対象：グリーンボンドの代表的発行体である欧洲投資銀行（EIB）が同時期に発行した、ほぼ同じ残存期間を持つグリーンボンド（以下“GB”）とバニラ・ベンチマーク債（以下“NGB”）の時系列データ
- ブルームバーグで取得した流通市場におけるヒストリカル・スプレッドを参照
 - Iスプレッド=対象債券の利回りとスワップカーブとのスプレッド
 - Gスプレッド=対象債券の利回りと国際カーブとのスプレッド
- スプレッド計測期間： 2018/3/1～2019/2/5(日足データ, n=238)

欧洲投資銀行のグリーンボンド発行例

(ユーロ・米ドル建 満期一括償還ベンチマーク債のみ)
 (出所: ブルームバーグ)

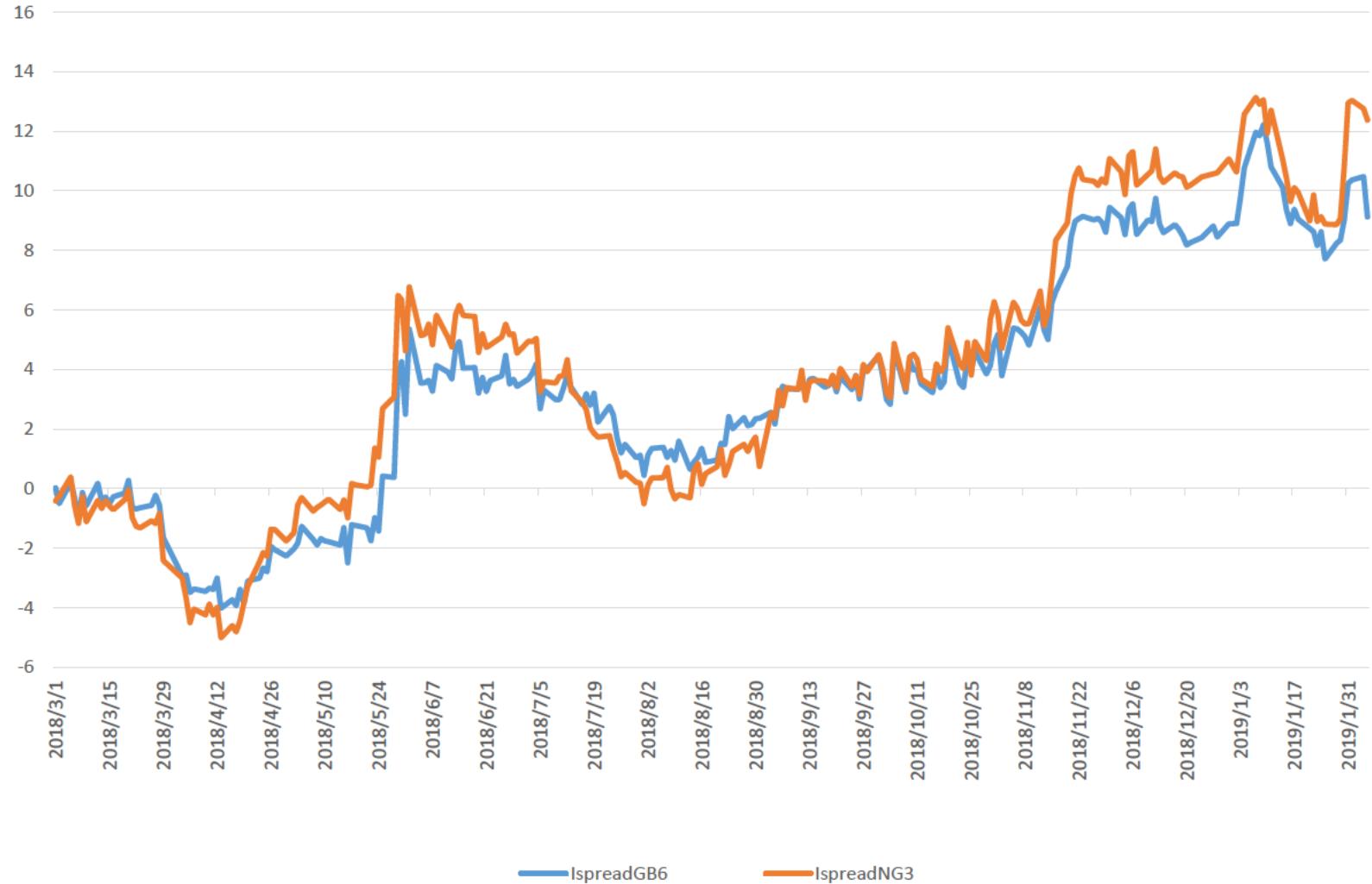
	発行体名	債券種類	S&P 格付	Moody's 格付	発行日	償還日	年限	利率 (%)	発行 通貨	発行額 (mm)	Mkt of Distribution
1	欧洲投資銀行	Green	AAA	Aaa	2013/07/18	2019/11/15	6	1.375	EUR	3000	International
2	欧洲投資銀行	Green	AAA	Aaa	2014/09/10	2026/11/13	12	1.25	EUR	1800	International
3	欧洲投資銀行	Green	AAA	Aaa	2014/10/15	2024/10/15	10	2.5	USD	1000	Foreign
4	欧洲投資銀行	Green	AAA	Aaa	2015/08/27	2023/11/15	8	0.5	EUR	1900	International
5	欧洲投資銀行	Green	AAA	Aaa	2016/04/13	2026/04/13	10	2.125	USD	1500	Foreign
6	欧洲投資銀行	Green	AAA	Aaa	2016/10/05	2037/11/13	21	0.5	EUR	1250	Global
7	欧洲投資銀行	Green	AAA	Aaa	2017/5/24	2027/05/24	10	2.375	USD	1500	Foreign
8	欧洲投資銀行	Green	AAA	Aaa	2017/07/05	2047/11/15	30	1.5	EUR	1250	Global
9	欧洲投資銀行	Green	AAA	Aaa	2018/04/25	2025/06/13	7	2.875	USD	1500	RegS
	欧洲投資銀行	Green	AAA	Aaa	2018/04/25	2025/06/13	7	2.875	USD	1500	144A

GBとNGB比較のためのEIB債券の選択

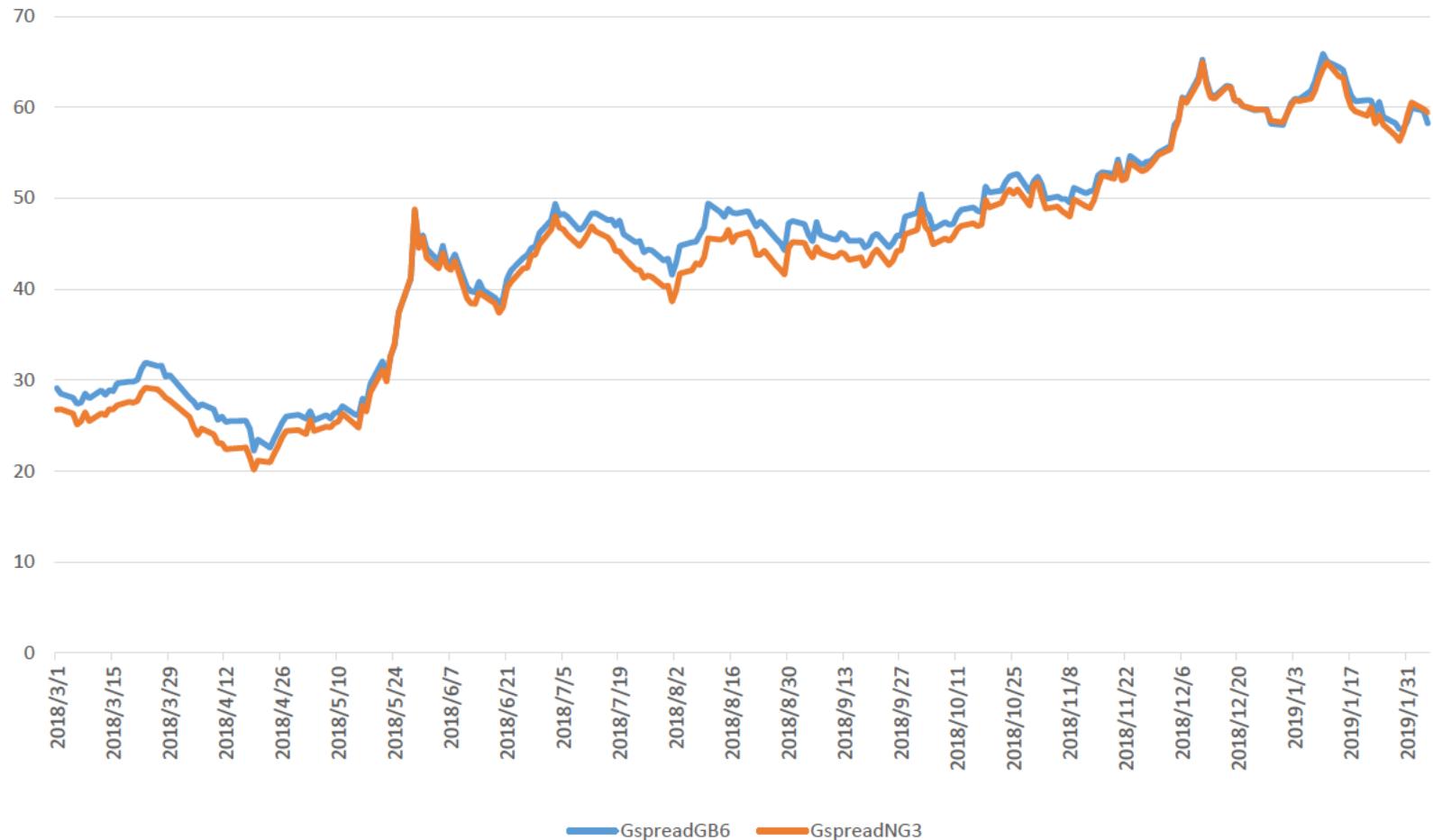
(出所：ブルームバーグ)

	グリーンボンド(GB)	非グリーンボンド (NGB)
発行体	欧州投資銀行	欧州投資銀行
発行日	2017年7月5日	2018年1月18日
償還日	2047年11月15日	2048年10月16日
年限	29.5年債	30年債
発行額	12.5億ユーロ	30億ユーロ
利率	1.5%	1.5%
発行市場	グローバル	
格付け	AAA/Aaa	AAA/Aaa

分析事例 1：EIBのGBとNGB比較 |スプレッド推移 (ブルームバーグ抽出データより筆者作成)



分析事例 1：EIBのGBとNGB比較 Gスプレット推移 (ブルームバーグ抽出データより筆者作成)



先行研究(家田, 大庭1998)

1. モデル

$$LS_i = \alpha + \beta Mat_i + \gamma Coup_i + \sum_{n=1}^4 \pi_n D_{ni} + \epsilon_i$$

($i=1, \dots, n$), $n=817$. ϵ_i は誤差項.

LS_i : 銘柄*i*のLibor スプレッド

Mat_i : 銘柄*i*の残存年数

$Coup_i$: 銘柄*i*のクーポン・レート

D_{ni} : 銘柄*i*の格付けを表すダミー変数

$D_{1i} = 1$: 銘柄*i*の格付けがAA, $D_{1i} = 0$: それ以外

$D_{2i} = 1$: 銘柄*i*の格付けがA, $D_{2i} = 0$: それ以外

$D_{3i} = 1$: 銘柄*i*の格付けがBBB, $D_{3i} = 0$: それ以外

$D_{4i} = 1$: 銘柄*i*の格付けがBB, $D_{4i} = 0$: それ以外

先行研究(家田, 大庭1998)

2. 推定方法

それぞれの時点 $t=1, \dots, 48$ における、クロスセクショナルデータに対して、最小二乗法による重回帰分析を行った。

3. 注意点

建設業(38銘柄)は解析の対象から外している。

GB・NGBパフォーマンス比較 モデル

- モデル

$Spread_i$

$$= \beta_0 + \beta_1 Mat_i + \beta_2 Coup_i + \beta_3 GD_i + \sum_{n=1}^4 \pi_n D_{ni} \\ + \beta_4 X_i + \epsilon_i$$

- GD_i はグリーンボンドダミー
- X_i :スプレッドに影響を与えていていると思われる変数（今後検討）
- それぞれのtの時点におけるクロスセクショナル（横断的）分析から始める

GB・NGBパフォーマンス比較 モデル

- 今回のモデル

$Spread_i$

$$= \beta_0 + \beta_1 Mat_i + \beta_2 Coup_i + \beta_3 GD_i + \beta_4 Cur_i + \epsilon_i$$

- GD_i :グリーンボンドダミー(1:Green,0:Non-Green)
- Mat_i :銘柄*i*の満期までの残存日数
- Cur_i :通貨ダミー(1:EUR, 0:USD)
- 今回は欧州投資銀行の発行した債券のみを使用するので、格付けダミー用いない。

使用したデータ

(データソース：ブルームバーグ)

- EIBの発行した債券($n=15$)
 - US\$, Euro建ベンチマーク・グリーンボンド10件
(p 5 参照)
 - US\$, Euro建てベンチマーク非グリーンボンド 5 件
(事項参照)
- 上記15件の債券の2019年2月13日付の市場スプレッドを参照 (ブルームバーグにて表示される I spread と G Spread を採用)

欧洲投資銀行の非グリーンボンド発行例

(ユーロ・米ドル建 満期一括償還ベンチマーク債のみ)
 (出所: ブルームバーグ)

	発行体名	債券種類	S&P 格付	Moody's 格付	発行日	償還日	年限	利率 (%)	発行通貨	発行額 (mm)	Mkt of Distribution
1	欧洲投資銀行	一般	AAA	Aaa	2013/2/11	2020/3/16	7	1.625	USD	1250	RegS
2	欧洲投資銀行	一般	AAA	Aaa	2013/3/13	2020/7/15	7	1.5	EUR	6000	EuroMTN
3	欧洲投資銀行	一般	AAA	Aaa	2013/6/11	2023/4/14	9	2	EUR	5000	EuroMTN
4	欧洲投資銀行	一般	AAA	Aaa	2017/5/16	2033/4/13	15	1.125	EUR	5000	EuroMTN
5	欧洲投資銀行	一般		Aaa	2018/1/18	2048/10/16	30	1.5	EUR	3000	

	Model1	Model2	Model3	Model4
	lspread	lspread	Gspread	Gspread
(Intercept)	-30.420*** (2.898)	-30.020*** (1.518)	23.927* (8.14)	24.921** (6.883)
Mat	0.004*** (0.000)	0.004*** (0.000)	0.005*** (-0.001)	0.005*** (-0.001)
Coup	0.562 (1.889)		-9.811 (5.307)	-8.966* (3.182)
Currency: EUR/USD	31.457*** (2.973)	32.285*** (1.695)	2.440 (8.351)	
Dummy: Green/vanilla	-0.577 (1.890)		3.701 (5.307)	
sigma	3.27	3.009	9.184	8.589
R-squared	0.975	0.974	0.873	0.867
p-value	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)

かっこ内()の値は推定誤差.

*有意水準5%で有意, **有意水準1%で有意, ***有意水準0.1%で有意

Akaike Information Criterion (Akaike, 1974)により Model2, Model4が選ばれた

まとめ(その1)

1. 2019年2月13日のIスプレッドにおいて残存日数と通貨ダミーは有意水準0.1%の下でも有意である.Gスプレッドにおいては、残存日数とクーポンが有意である.
2. Model1, Model3においてグリーンボンドダミーは有意でない.即ち2019年2月13日において、グリーンボンドのスプレッドへの影響は確認できない.
3. 今後の課題
 - (i) サンプル数nを増やす
 - (ii) 今回は時点tを固定した. 今後はそれぞれのtの時点におけるクロスセクショナル（横断的な）分析から始める.
 - (iii) モデリングの検討.

まとめ(その1)

- パネルモデルへの拡張

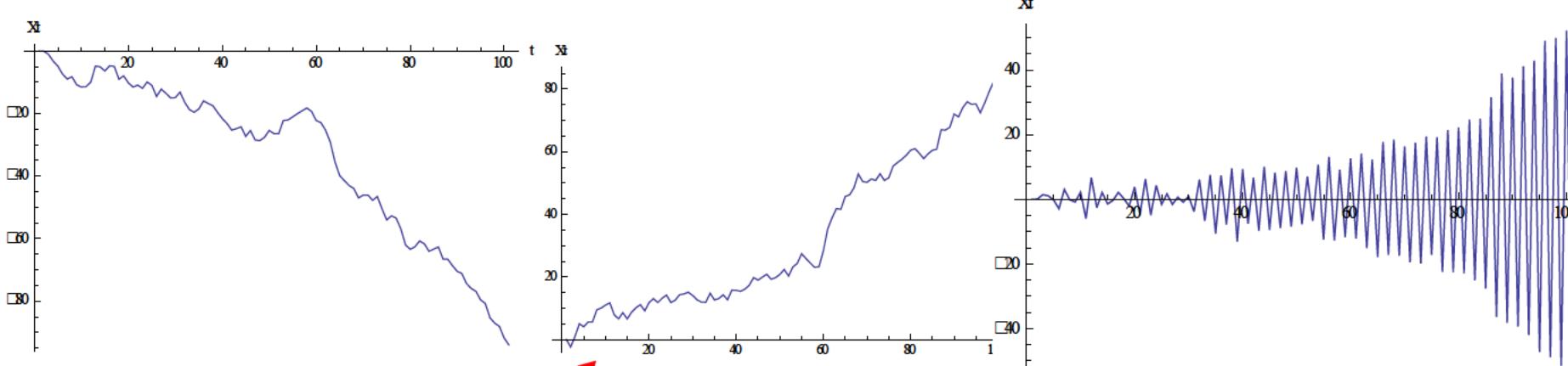
$$Spread_{it} = \beta_0 + \beta_1 Mat_{it} + \beta_2 Coup_{it} + \beta_3 GD_i + \sum_{n=1}^4 \pi_n D_{it,n} + \beta_4 X_{it} + \epsilon_{it} \quad (i = 1, \dots, N, t =$$

時系列データの定常性について

- 時系列モデル、パネルモデルを用いて仮説を検証するためには、いくつかの条件を満たす必要がある。
- 今回はスプレッドの系列を時系列データとみたときの特徴を明らかにする。
→今回収集したスプレッドのデータは非定常であることを確認した。このため、計量分析ソフトのパネルモデルによる統計分析では、正しく仮説検定をできない可能性がある。

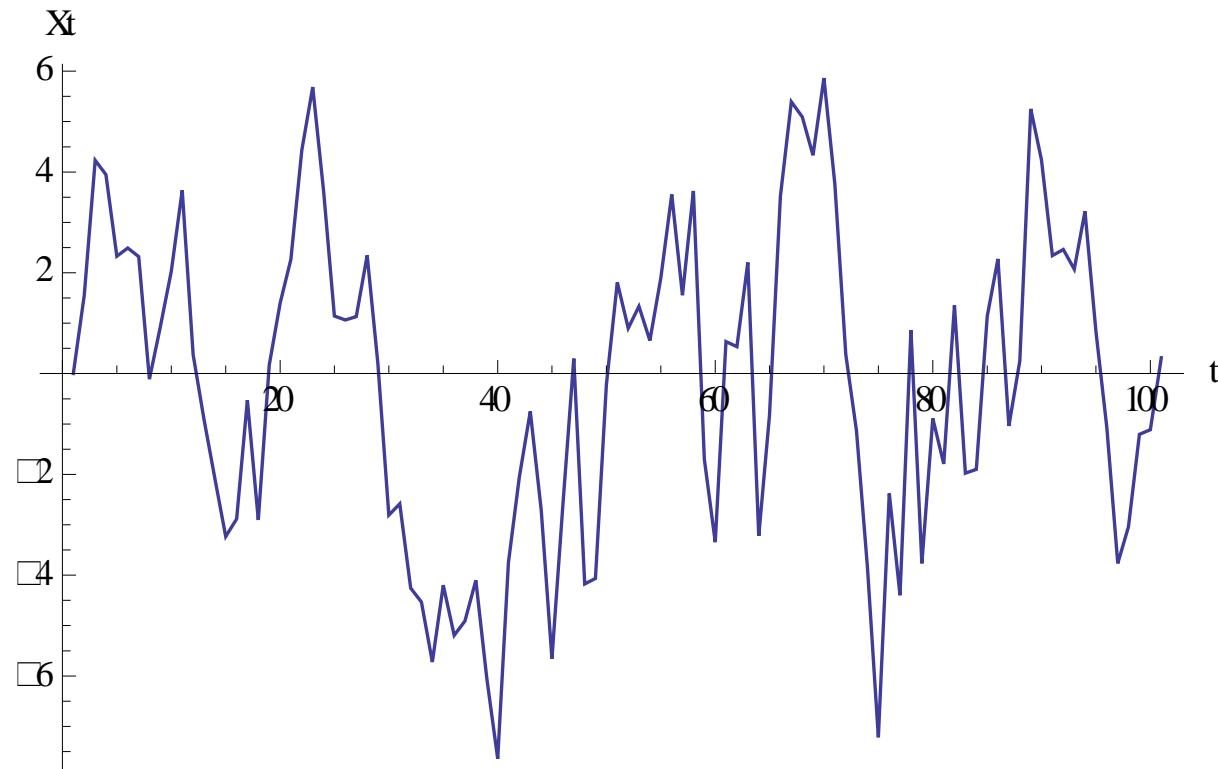
定常性とは？

- 大雑把にいえば、データ Y_t ($t = 1, 2, \dots$) が定常であるとは、計測する時点 t によって、 Y_t の確率分布が変わらないこと。
- 定常でない（非定常な）例

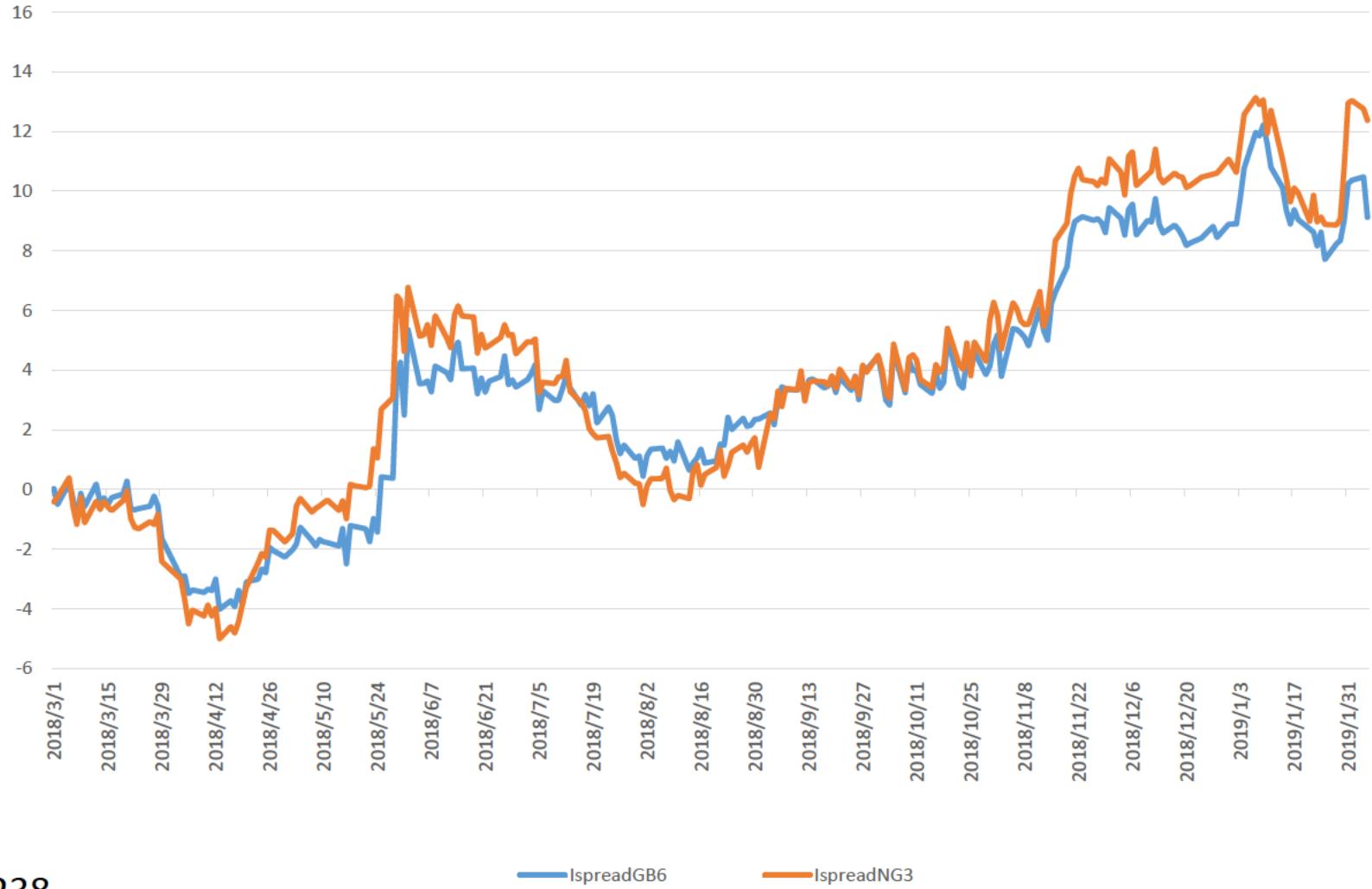


- トレンドがあるという。

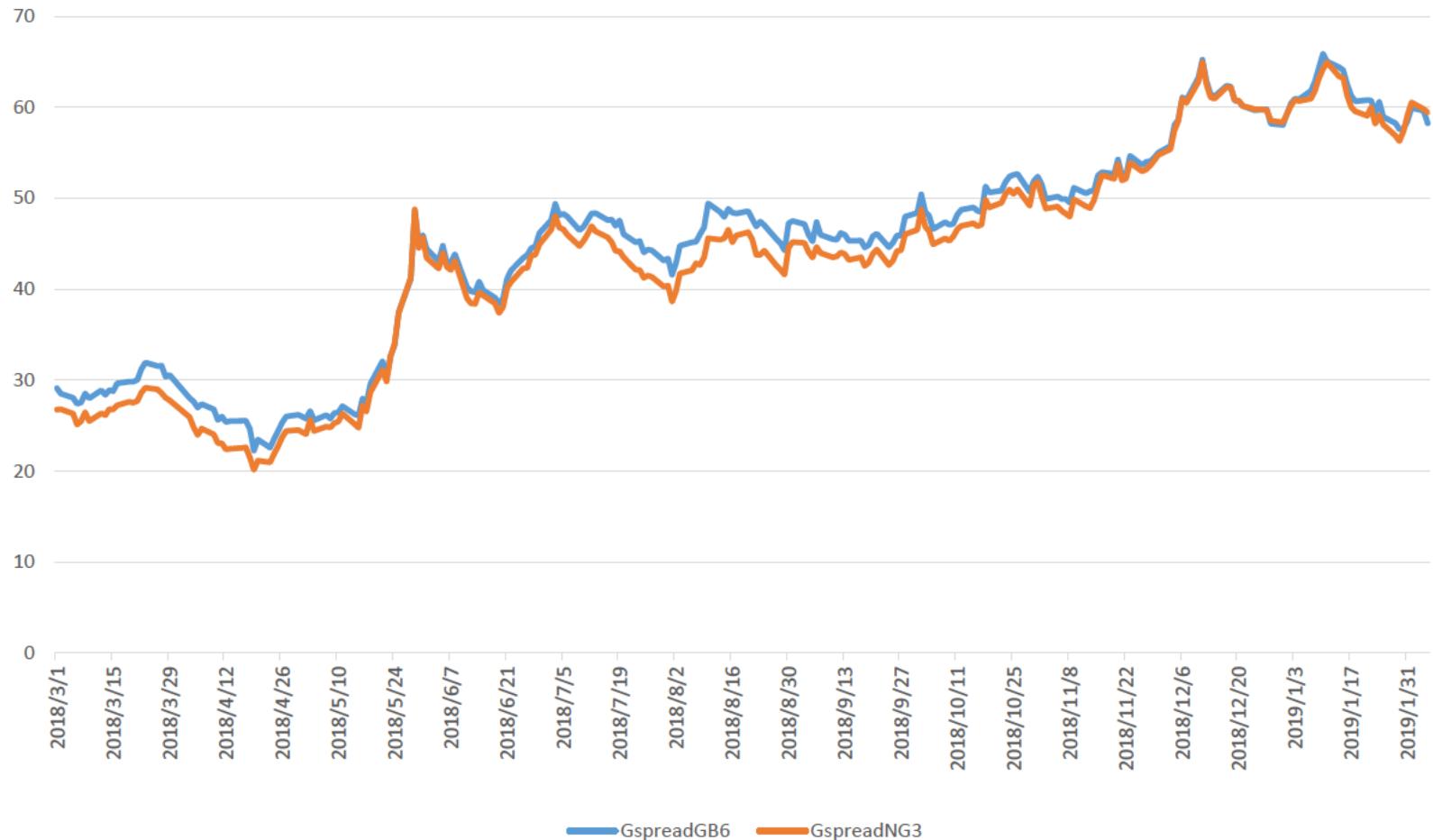
定常な例



分析事例 1：EIBのGBとNGB比較 Iスプレッド推移 (ブルームバーグ抽出データより筆者作成)



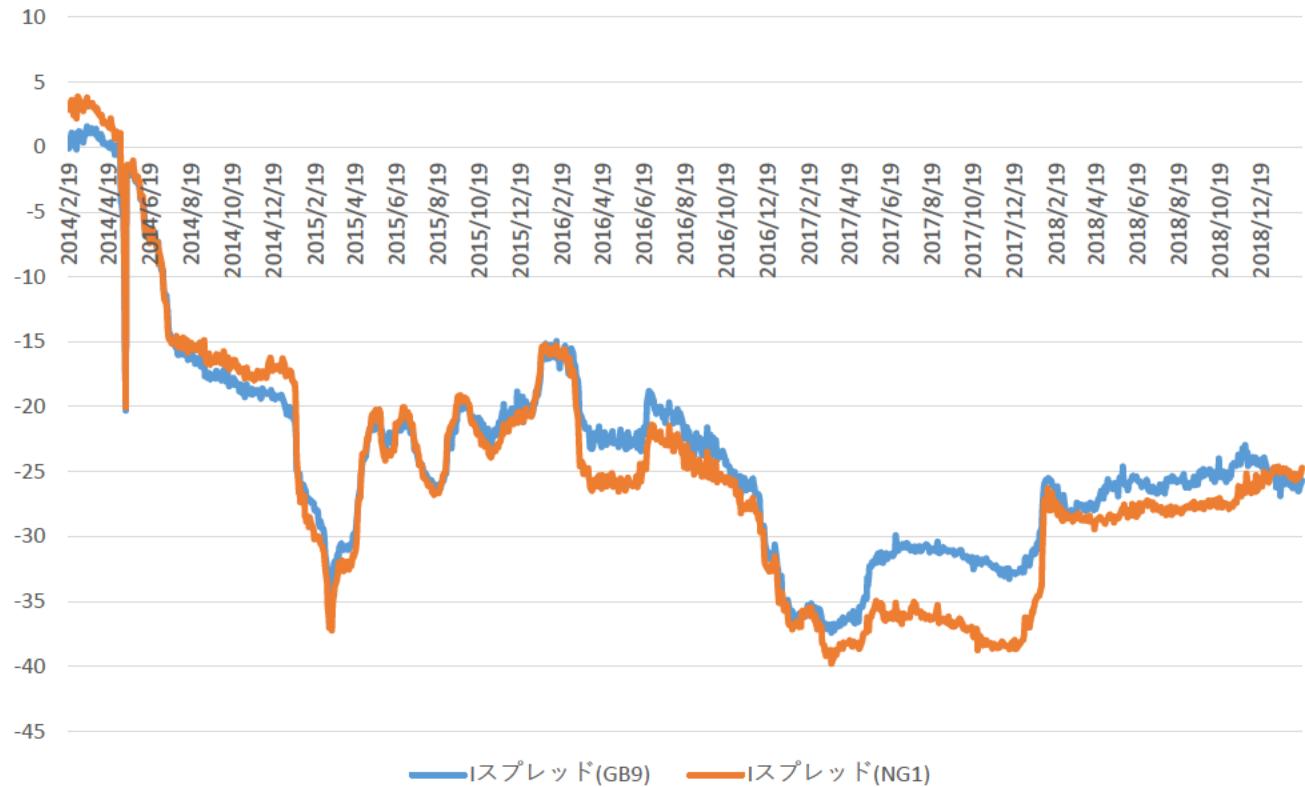
分析事例 1：EIBのGBとNGB比較 Gスプレッド推移 (ブルームバーグ抽出データより筆者作成)



分析事例 1：EIBのGBとNGB比較

非定常性は計測期間を長くしても、非定常性は消えない。

T=1278



- EIB NGB1 : 利率 1.5% 発行日 2013/3/13, 償還日 2020/7/15
発行額 Euro 6billion, Iスプレッド
- EIB GB9 : 利率 1.375% 発行日 07/18/2013, 償還日
11/15/2019, 発行額 Euro 3billion, Iスプレッド

定常性の検定(拡張ディッキー－フラー検定)

type="c"

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \delta Y_{t-1} + \gamma_1 \Delta Y_{t-1} + \cdots + \gamma_{p-1} \Delta Y_{t-p+1} + \epsilon_t$$

ここで $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$, $p-1$ がラグの数となる。

type="ct"

$$\Delta Y_t$$

$$= \beta_0 + \beta_1 t + \delta Y_{t-1} + \gamma_1 \Delta Y_{t-1} + \cdots + \gamma_{p-1} \Delta Y_{t-p+1} + \epsilon_t$$

ここで $p-1$ がラグの数となる。

$$H_0: \delta = 0 \text{(非定常)} \text{ vs } H_1: \delta < 0 \text{(定常)}$$

定常性の検定

- 拡張ディッキー-フラー検定
(Augmented Dickey-Fuller(ADF) test)
- 使用したデータ:I
スプレッド
- **赤字**はAICによって選ばれたラグに対するモデルのp値

		type	lag	pvalue
	GB	c	3	0.8048
	GB	ct	3	0.2106
	GB	c	6	0.8145
	GB	ct	6	0.2531
	NG	c	3	0.8733
	NG	ct	3	0.4837
	NG	c	6	0.8402
	NG	ct	6	0.4418
	GB	c	8	0.7910
	GB	ct	8	0.1846
	NG	c	1	0.9205
	NG	ct	8	0.2870

定常性の検定

- 拡張ディッキー–フラー検定
(Augmented Dickey–Fuller(ADF) test)
- 使用したデータ:Gスプレッド
- **赤字**はAICによって選ばれたラグに対するモデルのp値

	type	lag	pvalue	
	GB	c	3	0.6241
	GB	c	6	0.5922
	GB	ct	3	0.2472
	GB	ct	6	0.0971
	NG	c	3	0.6779
	NG	ct	3	0.2110
	NG	c	6	0.6406
	NG	ct	6	0.0759
	GB	c	0	0.7535
	GB	ct	2	0.3148
	NG	c	0	0.8005
	NG	ct	2	0.2605

非定常性の検定（KPSS検定）

KPSS(Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, and Shin, 1992)検定も行い、系列の非定常性を確認する。

	type	lag	Iスプレッド	Gスプレッド
GB	mu	4	**	**
GB	tau	4	**	**
GB	mu	14	**	**
GB	tau	14	.	.
NG	mu	4	**	**
NG	tau	4	**	**
NG	mu	14	**	**
NG	tau	14	.	.
GB-NG	mu	4	**	**
GB-NG	tau	4	**	**
GB-NG	mu	14	.	*
GB-NG	tau	14	*	*

.は10%で有意, *は5%で有意,**は1%で有意

モデルの特定

グリーンボンドおよびノングリーンボンドのモデルをARIMA(p,d,q)モデルに当てはめた.
オーダーp,d,qはAICにより推定した.

1. Iスプレッド

(i) GB $Y_t - Y_{t-1} = u_t$ (ランダムウォーク)

(ii) NGB $Y_t - Y_{t-1} = u_t$ (ランダムウォーク)

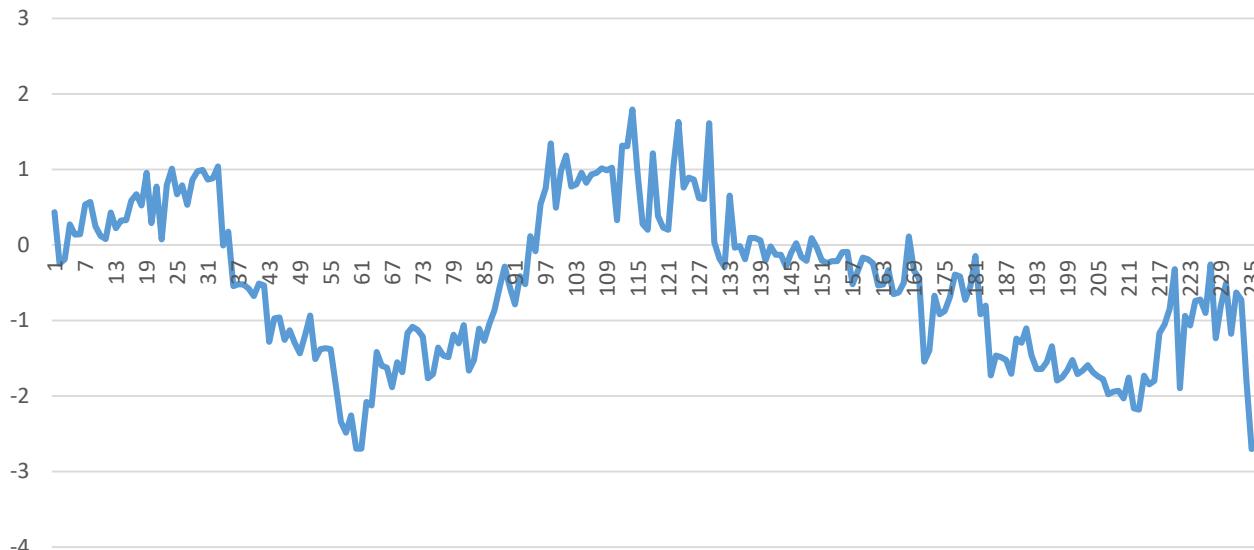
2. Gスプレッド

(i) GB $Y_t - Y_{t-1} = u_t - 0.32u_{t-1} + 0.21u_{t-2}$

(ii) NGB $Y_t - Y_{t-1} = u_t - 0.22u_{t-1} + 0.13u_{t-2}$

GBとNGBのスプレット差の平均の推定

- GBのI(G)スプレット GB_t ($t = 1, \dots, T$)
- NGBのI(G)スプレット NGB_t ($t = 1, \dots, T$)
- $Y_t = GB_t - NGB_t$ とおき, Y_t のモデルを考える.
- 系列 $\{Y_t\}$ も非定常(和分)過程になる.



まとめ(その2)

1. クロスセクショナル分析においては、グリーンボンドのスプレッドに与える影響は確認できなかつた。今後サンプル数を増やし、パネル分析まで拡張する。
2. 債券のスプレッド、およびスプレッドの差は非定常過程である可能性が高い。
定常性を仮定したときに成り立つ統計理論は期待できない。先行研究(例えばZerbib (2019))において使用されているHausman 検定なども検証する必要があるかもしれない。

参考文献

- [1] Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 19, no. 6, pp. 716-723
- [2] 家田 明, 大庭 寿和 (1998). 国内普通社債の流通市場におけるLiborスプレッドの最近の動向, 日本銀行金融研究所
- [3] Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American statistical association*, 74(366a), 427-431.
- [4] Kwiatkowski, D., Phillips, P. C., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root?. *Journal of econometrics*, 54(1-3), 159-178.
- [5] Zerbib, O. D. (2019). The effect of pro-environmental preferences on bond prices: Evidence from green bonds. *Journal of Banking & Finance*, 98, 39-60.