

ベージュブックテキストがビットコイン価格と採掘難易度に与える影響分析

市川 佳彦¹ 高野 海斗² 中川 慧²

¹ 株式会社 Insight Edge ² 大阪公立大学 経営学研究科

yoshihiko.ichikawa@insightedge.jp {takaito0423, kei.nak.0315}@gmail.com

概要

本研究では、暗号資産市場に対するベージュブック情報の影響を自然言語処理を用いて分析する。米連邦準備制度理事会 (FRB) が公表するベージュブックは、地域経済の景況感や多様なトピックを含むテキスト情報を持ち、様々な資産に影響を与えることが実証されている。ベージュブック公表日前後の変動に着目し、ビットコイン価格および採掘難易度 (Difficulty) への影響を検証した結果、エネルギー関連トピックのセンチメントが採掘難易度の変動幅と有意に関連することが示された。つまり、中央銀行テキストのセンチメントが、暗号資産ネットワークの調整メカニズムに影響し得ることが示唆された。

1 はじめに

本研究は、ビットコイン価格と採掘難易度 (Difficulty) に対するベージュブック情報の影響を実証的に分析する。暗号資産は、2009年の誕生以降、急速に時価総額を拡大し、株式やコモディティに並ぶ新たな投資資産クラスとして注目を集めている [1, 2]。ビットコインは代表的な暗号資産として世界的に取引されており、リスク分散手段や投機資産としてだけでなく、マクロ経済環境や金融政策に対する市場の期待を反映する新たな指標としても注目されている。その価格はマクロ経済や金融政策ショックの影響を受ける一方 [3, 4, 5, 6]、ネットワークを維持するマイニング行動を通じて採掘難易度が均衡的に決定されることが知られている。ビットコインはプルーフ・オブ・ワーク (Proof-of-Work, PoW) というコンセンサスアルゴリズムを採用して、ネットワーク全体の信用が担保される仕組みとなっている。そしてその仕組みを維持するためマイニングを行うマイナーに報酬を設定している。この報酬はマ

イニングの難易度を示す採掘難易度に依存する¹⁾。採掘難易度の上昇はビットコイン価格の上昇につながることを確認されている [7, 8, 9]。

このようにビットコイン価格と採掘難易度はマクロ環境と技術的要因の双方に依存するが、中央銀行が公表するテキスト情報がこれらに与える影響は十分に理解されていない。マクロ情報と金融市場を結びつけるうえで、中央銀行が公表する文書のテキスト情報は重要な役割を果たす。特に、連邦準備制度理事会 (FRB) が公表するベージュブックは、各地区連銀が収集した聞き取り調査に基づき地域経済の現状を要約したレポートであり、FOMC 会合のおよそ2週間前に公表される (図1参照)。先行研究では、ベージュブックのテキストから構築した景気指数が実体経済の変動や景気後退の発生を予測することや [10, 11, 12]、金利やイールドスプレッド、為替や原油などの金融市場変数の予測に有用であることを示している [13, 14, 15]。ベージュブックはFOMC メンバーが金融政策を議論する際の重要なインプットであり、公表時点で市場参加者のマクロ認識や政策期待を更新させる可能性が高い。しかしながら、このベージュブックの情報がビットコイン価格および採掘難易度にどのように反映されるかは未検証である。

したがって本研究の目的は、ビットコイン価格と採掘難易度におけるベージュブックテキストの影響を分析し、中央銀行テキストが暗号資産市場とマイニング活動に与える影響を明らかにすることである。具体的には、(i) ベージュブック公表日前後のビットコイン超過リターンおよび採掘難易度の変化

1) 採掘難易度 (Difficulty) はマイニングによりブロックを生成する難易度のことである。ブロックの生成は平均して10分に1回になるように調整される。その調整をするため2週間に1度採掘難易度を変更される。過去2週間の平均が10分より短ければ難易度を上げ (値を下げ)、逆に長ければ難易度を下げ (値を上げ) る。マイナーが増えたり、マイニングの技術革新が起きると採掘難易度は上昇する。

に着目したイベントスタディにより、公表自体のインパクトを評価し、(ii) 自然言語処理により抽出したセンチメント指標およびトピック指標を用いた回帰分析を通じて、どのような景気トーンやトピックがビットコイン市場とマイニング活動に反映されるのかを検証する。

2 データセット

2.1 ベージュブック

ベージュブックは、各地区連銀の管轄地域の経済状況をまとめたものであり、FOMC 会合の2週間前に公開され、トピックは、GDP、物価、雇用、製造業、農業、観光、不動産など多岐にわたる。また、FOMC での議論の材料になることから、次の FOMC 会合の結果を推測する材料の1つとなっている。本研究では、[16]にて構築されたベージュブックコーパスを使用する。本コーパスは関連研究を参考に様々な分析タスクに利用しやすいフォーマットにデータが加工されている。したがって、誰でも同じテキストコーパスを使うことができるため、同一条件での再現実験が可能である。使用する本コーパスには、文の地域やトピック、いくつかのセンチメントスコアが付与されている。本研究では各文のトピックと、ベージュブックのトーンとして、コーパスに付与されている情報から以下3つのセンチメントスコアを使用する。

- $Score_{DH}$: dovi-hawk score
- $Score_{FB}$: finbert score
- $Score_{LM}$: Loughran McDonald score

各スコアに関して、簡単に紹介する。

dovi-hawk score : このスコアはタカハトスコアと呼ばれることもある中央銀行の金融緩和（ハト）と金融引締（タカ）の度合いを示すスコアである。[16]にて構築されたコーパスには、[17]らが開発した独自のセンチメントモデルによって、文がハトである確率を示す「dovish_prob」とタカである確率を示す「hawkish_prob」などが付与されている。これらのスコアを以下のように算出したものが、「dovi-hawk score」であり、1に近いほどハト度合いが高くなるスコアとなっている。

$$\text{dovi-hawk score} = \frac{\text{dovish_prob}}{\text{dovish_prob} + \text{hawkish_prob}} \quad (1)$$

finbert score : このスコアは構築コーパスに元から付与されているスコアである。[18]らが開発した

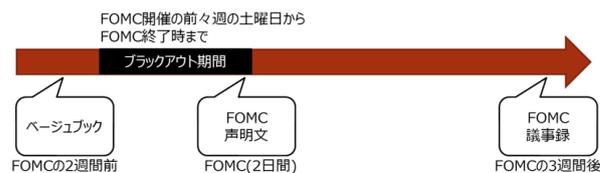


図1 テキストデータの公開されるタイミング

FinBERT によって算出されており、金融テキスト分析ではしばしば用いられるモデルである。株価の上昇に起因するような文に対してポジティブ、下落に起因するような文に対してネガティブを返すようなモデルであるため、Beigebook 分析に特化したモデルではないが、[19]らの研究のように、中央銀行の公開しているテキスト情報の分析にも利用されているため、本研究でもこのスコアを利用する。

Loughran McDonald score : このスコアは、Loughran[20]らの金融極性辞書を用いて算出されたスコアであり、構築コーパスに元から付与されている。企業の適時開示資料と業績結果を紐づけることで作成された辞書となっており、金融テキストにおけるセンチメント分析のデファクトスタンダードな手法となっているため、本研究でもこのスコアを利用する。

2.2 ビットコイン価格および採掘難易度

データ Bitcoin Is Data²⁾から取得した。データの期間は、2015年5月27日から2024年11月26日までである。

3 リサーチデザイン

本章では、本研究のリサーチデザインを述べる。

H1: ベージュブック発表はビットコイン価格とビットコインの採掘難易度において価格変動に影響を与えるか。

H2: ベージュブック発表のどのようなセンチメントやトピックがビットコイン価格とビットコインの採掘難易度において重要か。

H1については、ベージュブック発表前後のビットコイン価格とビットコインの採掘難易度のリターンの絶対値と、それ以外の時期におけるリターンの絶対値を比較し、差を確認することで検証する。加えて、過去のリターンやボラティリティ、ベージュブックの有無でリターンの絶対値のどの程度変化するか検証した。次に、H2については、ベージュ

2) <https://bitcoinisdata.com/>

ブックのセンチメントやトピックにより、リターンの絶対値がどのように変化するかを、ページブック・コーパスを用いて分析する。

3.1 H1の検証

Welch の t 検定 ページブック公表日の日付を $t^{(b)} - 1$ 、発表日翌日の日付を $t^{(b)}$ とする。ページブック公表日のリターンの絶対値の平均値 $\bar{R}_{abs,i}^{(b)} = \frac{1}{|b|} \sum_b |R_{i,t^{(b)}}^{(1)}|$ に対して、全期間のリターンの絶対値の平均値 $\bar{R}_{abs,i} = \frac{1}{|T|} \sum_t |R_{i,t}^{(1)}|$ が等しいかどうかを検定する。これにより、ページブックの発表によるビットコイン価格および採掘難易度の動向を検証することができる。

ページブックの有無による影響 ビットコインの価格変動は、様々なファクターが関連していることが知られている [3, 21]。そのため、直前のリターンや偏差も考慮した上で、ページブックが発表された日におけるリターンの絶対値の変化を調べる。

まず、被説明変数としてリターンの絶対値 $R_{abs,i,t}^{(1)} = |R_{i,t}^{(1)}|$ を用いる。次に説明変数として、前日のリターンの絶対値 $R_{abs,i,t-1}^{(1)} = |R_{i,t-1}^{(1)}|$ と平均絶対偏差 $MAD_{i,t}$ の2つのファクターに加え、ページブック公表日を1、それ以外を0としたダミー変数 $D_t^{(b)}$ を加えて重回帰分析を行う。なお、 t 時点でのボラティリティは、

$$\bullet \text{MAD}_{i,t} := \frac{1}{|w|} \sum_{t \in w} |F_{i,t}^{(1)} - \mu_i|$$

と定義する。ここで、 μ_i は $F_{i,t}^{(1)}$ の平均値であり、 $w = 10$ を使用する。

以上を踏まえて検証する回帰式は次の通りである。

$$R_{abs,i,t}^{(1)} = \alpha + \beta_D D_t^{(b)} + \beta_R R_{abs,i,t-1} + \beta_{MAD} MAD_{i,t} + \varepsilon_t \quad (2)$$

3.2 H2の検証

次に、データをページブック公表日のみに絞り込み、先ほどの回帰式の $D_t^{(b)}$ をページブックセンチメント $SMT_t^{(b)}$ に置き換えることで、ページブックのトーンの影響を検証する。分析には $Score_{DH}$, $Score_{FB}$, $Score_{LM}$ を用い集計を行う。なお、ページブックセンチメントとして、

- (a) 全体の平均: $SMT_t^{(b_{ALL})}$
- (b) "summary of economic activity" に代表される全体の要約部分: $SMT_t^{(b_{EA})}$

表1 H1の結果

対象	t 値	p 値
ビットコイン価格	-1.620	0.108
ビットコインの採掘難易度	-2.261	0.027**

注: * は 10%, ** は 5%, *** は 1% 水準で有意。

表2 ページブックの有無による影響

	ビットコイン価格	ビットコインの採掘難易度
α	0.0190*** (27.667)	0.0061*** (13.844)
β_R	0.3613*** (28.649)	0.1962*** (14.871)
β_{MAD}	-0.0000*** (0.003)	-0.0000*** (-5.138)
β_D	-0.0028 (0.398)	-0.0003 (-0.115)
R^2	0.135	0.046
Adj. R^2	0.134	0.045
n	5386	5386

注: 括弧内は t 値, * は 10% 水準, ** は 5% 水準, *** は 1% 水準で有意

- (c) "energy" というエネルギーに関する部分: $SMT_t^{(b_{EE})}$

の3つを使用する。以上を踏まえて検証する回帰式は次の通りである。

$$R_{abs,i,t}^{(1)} = \alpha + \beta_{SMT} SMT_t^{(b)} + \beta_R R_{abs,i,t-1} + \beta_{MAD} MAD_{i,t} + \varepsilon_t \quad (3)$$

4 実証分析

4.1 H1の検証

Welch の t 検定 結果を表1に示す。ビットコインの採掘難易度のリターンの絶対値が 5% 水準で有意となった。よって、ページブックの発表の有無が採掘難易度のリターンの絶対値に統計的に有意な影響を与えていることを示している。一方、ビットコイン価格のリターンの絶対値は有意ではなかった。

ページブックの有無による影響 結果を表2に示す。 $\beta_R, \beta_{MAD}, \beta_D$ はビットコイン価格とビットコインの採掘難易度双方で 1% 水準で有意となった。この分析から、加えたファクターを考慮すると、ビットコイン価格とビットコインの採掘難易度はページブックの公表があるか否かそのものは、リターンの絶対値に影響を与えないことが示唆された。

表3 ベージュブックセンチメントによる重回帰分析(ビットコイン採掘難易度)

	(a) 全体平均			(b) 概要部分			(c) エネルギー		
	Score _{DH}	Score _{FB}	Score _{LM}	Score _{DH}	Score _{FB}	Score _{LM}	Score _{DH}	Score _{FB}	Score _{LM}
α	0.008 (0.706)	0.002 (0.634)	0.003 (1.004)	0.011 (1.660)	0.002 (0.601)	0.003 (1.022)	0.002 (0.405)	0.002 (0.932)	0.005* (1.823)
β_R	0.547*** (8.670)	0.543*** (8.611)	0.544*** (8.554)	0.544*** (8.689)	0.544*** (8.562)	0.547*** (8.675)	0.546*** (8.645)	0.546*** (8.652)	0.536*** (8.614)
β_{MAD}	-0.000 (-0.577)	-0.000 (-0.287)	-0.000 (-0.447)	-0.000 (-0.301)	-0.000 (-0.559)	-0.000 (-0.870)	-0.000 (-0.706)	-0.000 (-0.712)	-0.000 (-0.754)
$\beta_{ScoreDH}$	-0.015 (-0.509)			-0.025 (-1.402)			0.000 (0.012)		
$\beta_{ScoreFB}$		0.012 (0.774)			0.002 (0.280)			0.001 (0.218)	
$\beta_{ScoreLM}$			0.009 (0.340)			-0.007 (-0.527)			0.018** (2.011)
R^2	0.421	0.423	0.421	0.431	0.421	0.422	0.420	0.420	0.441
Adj. R^2	0.405	0.407	0.404	0.415	0.404	0.405	0.404	0.404	0.426
n	111	111	111	111	111	111	111	111	111

注：括弧内は t 値，* は 10 %水準，** は 5 %水準，*** は 1 %水準で有意

4.2 H2 の検証

結果を表3に示す。ここでは、ビットコインの採掘難易度の結果を説明する。定数項は一部のモデルを除き有意ではない。また、自己回帰項 (β_R) は全体平均およびエネルギーのトピックにおいて1%水準で強く有意であり、難易度調整における強い慣性が確認できる。

センチメントスコアについては、Score_{FB}、Score_{DH} は全てのトピックにおいて有意ではない一方、Score_{LM} はトピック「エネルギー」において5%水準で有意である。これは、ビットコインのマイニング(採掘)が大量の電力を消費するプロセスであるため[22]、一般的な経済動向よりも、エネルギー関連のセンチメントがマイナー(採掘者)の参入・退出行動、ひいては難易度の変動に影響を与えていることを示唆している。また、回帰係数は正である。これは、エネルギー市場に関するポジティブな情報(あるいはテキストに含まれる情報の確度が高い状態)において、難易度の変動幅(絶対値)が拡大することを示している。エネルギー供給の安定や価格に関する楽観的な見通しが、マイナーの競争環境を活性化させ、結果として難易度の調整幅を大きくしている可能性がある。

一方で、経済活動の概要部分(Summary)や全体平均(All)では、全てのスコアで有意性が確認されなかった。この理由として、ビットコインは特定の国(この場合は米国)の景況感よりも、グローバルな規制動向や半導体供給といった固有の要因に依存する側面が強いことが考えられる。特にScore_{DH}やScore_{FB}が有意とならなかった点については、学習

データとの不適合が挙げられる。Score_{FB}は一般的な金融ニュースを対象としており[18]、Score_{DH}は金融政策に特化したテキストに基づいているため、マイニングという物理的なコスト構造を持つ産業の変動を説明するには至らなかったと考えられる。対してScore_{LM}がエネルギー分野で有意となったのは、同スコアが企業の適時開示資料などを学習データとしており[20]、エネルギー企業の業績や将来見通しといった、マイニングコストに直結するファンダメンタルズ情報を捉えやすかったためと推察される。

5 まとめと今後の展望

政策や需給バランスの変化が市場価格に直結するため、ベージュブックの情報が市場予測に与える影響を評価することは重要である。本研究では、ベージュブックの動向がビットコインの価格及び採掘難易度に与える影響を分析した。具体的には、ベージュブック発表は変動に影響を与えるかどうか(H1)、どのような情報が重要かどうか(H2)を分析した。分析の結果、ベージュブック発表の経済活動の概要部分において、算出方法が異なる3つのスコアを分析し、ベージュブックのセンチメントが影響を与えることが示唆された。つまり、中央銀行テキストのセンチメントが、暗号資産ネットワークの調整メカニズムに影響し得ることが示唆された。

参考文献

- [1] Shaen Corbet, Andrew Urquhart, and Larisa Yarovaya. **Cryptocurrency and blockchain technology**. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2020.
- [2] Kei Nakagawa and Ryuta Sakemoto. Market uncertainty and correlation between bitcoin and ether. **Finance Research Letters**, Vol. 50, p. 103216, 2022.
- [3] Kei Nakagawa and Ryuta Sakemoto. Macro factors in the returns on cryptocurrencies. **Applied Finance Letters**, 2021.
- [4] Chaoqun Ma, Yonggang Tian, Shisong Hsiao, and Liurui Deng. Monetary policy shocks and bitcoin prices. **Research in International Business and Finance**, Vol. 62, p. 101711, 2022.
- [5] Tayfun Tuncay Tosun and Erginbay Uğurlu. The impact of the fed’s monetary policy on cryptocurrencies: Novel policy implications for central banks. **Journal of Risk and Financial Management**, Vol. 18, No. 7, p. 393, 2025.
- [6] 酒本隆太, ホエルデン, 市川佳彦. どの資産がビットコイン投資家にとってヘッジあるいは safe haven になるのか? 人工知能学会全国大会論文集, Vol. JSAI2019, pp. 2O3J1303–2O3J1303, 2019.
- [7] Emiliano Pagnotta and Andrea Buraschi. An equilibrium valuation of bitcoin and decentralized network assets. **Available at SSRN 3142022**, 2018.
- [8] Dean Fantazzini and Nikita Kolodin. Does the hashrate affect the bitcoin price? **Journal of Risk and Financial Management**, Vol. 13, No. 11, p. 263, 2020.
- [9] 市川佳彦, 酒本隆太. Difficulty がビットコイン価格に与える影響. 人工知能学会全国大会論文集, Vol. JSAI2020, pp. 2L5GS1303–2L5GS1303, 2020.
- [10] Nathan S Balke and D’Ann Petersen. How well does the beige book reflect economic activity? evaluating qualitative information quantitatively. **Journal of Money, Credit and Banking**, pp. 114–136, 2002.
- [11] Michelle T Armesto, Rubén Hernández-Murillo, Michael T Owyang, and Jeremy Piger. Measuring the information content of the beige book: A mixed data sampling approach. **Journal of Money, Credit and Banking**, Vol. 41, No. 1, pp. 35–55, 2009.
- [12] Shibley Sadique, Francis In, Madhu Veeraraghavan, and Paul Wachtel. Soft information and economic activity: Evidence from the beige book. **Journal of Macroeconomics**, Vol. 37, pp. 81–92, 2013.
- [13] Masaki Fujiwara, Yoshiyuki Suimon, and Kei Nakagawa. Treasury yield spread prediction with sentiments of beige book and macroeconomic data. In **2023 14th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI)**, pp. 337–342. IEEE, 2023.
- [14] Moeko Asano, Yoshihiko Ichikawa, Kei Nakagawa, and Kaito Takano. Analysis of investment behavior of individual investors in the fx market: Influence of fomc and beige book information. In **2024 16th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI)**, pp. 373–378. IEEE, 2024.
- [15] 市川佳彦, 高野海斗, 中川慧. エネルギー関連コモディティ先物市場におけるページブックテキストの実証分析. 言語処理学会 第 31 回年次大会 発表論文集, 2025.
- [16] 高野海斗, 長谷川直弘, 内藤麻人, 中川慧. Frb ページブックコーパスの構築と分析. 人工知能学会全国大会論文集, pp. 3Xin4–33, 2023.
- [17] Agam Shah, Suvan Paturi, and Sudheer Chava. Trillion Dollar Words: A New Financial Dataset, Task & Market Analysis. In **Proceedings of the 61st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)**, pp. 6664–6679, 2023.
- [18] Dogu Araci. Finbert: Financial sentiment analysis with pre-trained language models. **arXiv preprint arXiv:1908.10063**, 2019.
- [19] Sandro Gössi, Ziwei Chen, Wonseong Kim, Bernhard Bermeitinger, and Siegfried Handschuh. FinBERT-FOMC: Fine-Tuned FinBERT Model with Sentiment Focus Method for Enhancing Sentiment Analysis of FOMC Minutes. In **Proceedings of the Fourth ACM International Conference on AI in Finance**, pp. 357–364. Association for Computing Machinery, 2023.
- [20] Tim Loughran and Bill McDonald. When is a liability not a liability? textual analysis, dictionaries, and 10-Ks. **The Journal of Finance**, Vol. 66, No. 1, pp. 35–65, 2011.
- [21] Yukun Liu, Aleh Tsyvinski, and Xi Wu. Common risk factors in cryptocurrency. **The Journal of Finance**, Vol. 77, No. 2, pp. 1133–1177, 2022.
- [22] Christian Stoll, Lena Klaußen, and Ulrich Gellersdorfer. The carbon footprint of bitcoin. **Joule**, Vol. 3, No. 7, pp. 1647–1661, 2019.