

ESG 投資によって社会の持続可能性と経済成長の両立を実現することができるか

小 池 智 大*

1 イントロダクション

近年，ESG 投資への関心が急速に高まっている。ESG 投資とは「環境（Environment），社会（Social），ガバナンス（Governance）に対する企業の取組み状況に基づいて投資対象を選別する投資」（加藤 [2018] pp.iii）のことである。つまり，従来の財務情報に加えて，社会の持続可能性に結びつくこれらの3つに関する情報を判断材料にして行う投資である。ESG 投資が急速に普及したことは2006年に国際連合が公表した責任投資原則（UN-PRI）に起因するところが大きだろう。UN-PRIはESG問題を解決して，社会の持続可能性を高めることを狙いに公表されたと考えられる。またUN-PRIは「ESG要因はポートフォリオに影響を与えうる重要事項であることを主張した。つまり，リスクリターンの問題があるから，ESG要因を配慮する必要があるという考えを強調した。」（小方 [2016] pp.85-87）したがって，ESG投資の目的は持続可能な社会と企業の中長期的な成長を両立することであると考えられる。しかしそれに関わらず，ESG投資に関する先行研究が，ESG投資の普及が企業全体の中長期的成長に与える影響を分析することに重点を置いてきたと言え難い。ESG投資に関する先行研究の殆どは個々のESG投資のパフォーマンスを検証する実証研究，或いはESG評価の高い企業が高い財務パフォーマンスを達成することができるかを検証する実証研究である。したがって，ESG投資を行う投資家が増えることが社会の持続可能性や経済成長に与える影響については考えられていない。ESG投資の普及が社会の持続可能性と企業の中長期的成長をもたらすことを暗黙理に仮定しているとも言えるだろう。その前提の上で個々のESG投資のパフォーマンスの良し悪しを議論しているのである。しかし，ESG投資の目的が持続可能な社会と企業の中長期的な成長の両立にあることを考えると，ESG投資の普及が企業の中長期的な成長に与える影響を分析することは重要であろう。そこで，この論文ではMarkov過程を用いた不確実性動学モデルによって，ESG投資の普及が社会の持続可能性と企業の中長期的な成長に与える効果を理論的に検証する。その結果は驚くべきことに，ESG投資の普及が社会の持続可能性を高める効果がある一方で，市場の成長率を低下させるというものである。したがって，ESG投資では社会の持続可能性と経済成長のトレードオフ関係を克服することは難しいという結果が得られた。

ここで次の2つの注意を記す。まず1つ目はこの結果が企業のESG経営に対するインセンティブを奪うものではないということである。この研究の論点はあくまでもESG情報に基づいた投資

* 京都大学大学院経済学研究科修士課程

の普及を懸念することにあるのであって、ESG 情報を重視した企業経営が市場の中長期的成長を妨げると主張しているわけではない。一部の先行研究で指摘されているように、そのような経営がその企業の企業価値を向上させることは十分に考えられる。次に2つ目は本稿が ESG 投資の促進を止めるべきであると主張しているわけではないことである。本稿で主張しているのはあくまでも ESG 投資を以てしても社会の持続可能性と市場の成長のトレードオフ関係を解消することは難しいということである。

この研究は次の3つの点において新規的であると考えられる。まず1つ目は、従来の実証研究とは異なり ESG 投資が企業の中長期的な成長に与える影響を理論的に説明している点である。確かに、ESG 投資の効果を考える上で実証研究を行うことは非常に重要である。しかし、現段階ではそのような研究によって ESG 投資の効果について説得的な結論を出すことは困難であると考えられる。というのも、ESG 投資の効果を実証的に検証するにはデータが不十分であるからである。ESG 投資の効果はその性質上、中長期的な将来に現れるため、ESG 投資が行われるようになって15年程しか経過していない現在においてその効果を正確に測定することは難しいのである。したがって、本研究のような理論的に ESG 投資のメカニズムを説明する研究には大きな価値があると考えられる。次に2つ目は、従来の ESG 投資に関する研究がその投資パフォーマンスを検証するという個々の投資家への影響に重点をおいた研究であったのに対して、本研究は ESG 投資が市場全体に与える影響を検証している点である。確かに ESG 投資のパフォーマンスの良し悪しは投資家にとっては重要な問題である。したがって、従来の研究には大きな社会的価値があるだろう。しかし、同様に巨視的な視点をもって ESG 投資が将来の社会にもたらす影響を考えることも重要である。というのも、一般的には ESG 投資の目的は持続可能な社会と経済成長を両立することにあると考えられているからである。最後に3つ目は、特定の ESG 評価方法に依存せず、ESG 投資の一般的な特徴に基づいた分析を行っている点である。現在の ESG 指標が統一的ではない（参照：GPIF [2017]）ことを考えると、この特徴は本研究の社会的価値に大きく貢献していると考えられる。特定の ESG 評価と投資パフォーマンスの関係を分析する従来の実証研究では、本研究のような ESG 評価方法に依らない結果を得ることはできないだろう。以上の3つの点から、本研究が新規的でありかつ社会的価値のあるものであると考えられる。

本稿の構成は以下の通りである。§2では先行研究のレビューを行う。§3ではモデルの設定について記す。§4では前章で設定したモデルをシミュレーションによって解き、比較静学を行う。また、章の後半ではシミュレーションの結果から得られる示唆について論じる。§5では結論と今後の研究課題について記す。

2 先行研究のレビュー

本節では ESG 投資（SRI）に関する先行研究について論じる。企業の社会的責任（Corporate Social Responsibilities）に関する理論的な議論は、Friedman が1970年に当時流行しつつあった CSR 活動を批判したこと（Friedman [1970]）から盛んになった。彼はその論文で、経営者は株主のリターンを最大化すること以外の目的で株主の資金を使う権利はないという考えを示した。経

営者が個人的な評価のために CSR 支出をして、企業の本来の目的から逸脱するような経営を行う危険性を指摘したのである。この研究を支持する論文・文献は他にも見られる。例えば Hendersson [2001] では、CSR を採用することで企業の競争と経済的自由が損なわれるとして CSR 活動を批判している。しかし、その一方でこれらの研究と対立する研究もある。つまり、CSR が必ずしも企業の利潤最大化とは矛盾しないことを主張する研究である。例えば Jensen (2001) は、企業がその企業価値を最大化するためには株主の利益だけではなく、ステークホルダーの利益を考慮に入れる必要があると指摘した。その上で、ステークホルダー間の利益のトレードオフを解消するために、一元的な尺度として株主価値を利用することを提唱した。この理論は企業の目的が必ずしも株主価値の最大化にあるわけではないことを主張しているという点で、間接的に CSR 活動を正当化していると考えられる。その他にも CSR 活動に肯定的な論文・文献として、Brown and Fraser [2006], Drucker [1984], Mintzberg [1983], Porter and Kramer [2002] などが挙げられる。これらの研究は、企業価値を最大化するためには CSR を考慮する必要があることが重要であることを指摘している。以上のように、CSR を取り入れることで企業価値は向上するのかという問題に対する関心が高くなった。

このような趨勢に乗じて、CSR と CFP (企業の財務パフォーマンス; Corporate Financial Performance) は両立できるのか (ESG 評価の高い企業は財務パフォーマンスが優れているのか)、SRI (或いは ESG 投資) は高いパフォーマンスを実現できるのかという問題を検証する実証研究が盛んに行われるようになった。したがって、以下ではそのような実証研究を、その分析方法によって次の3つに分類して、その結果を記すことにする。1) SRI ファンドと従来型のファンドのパフォーマンスを比較する研究, 2) ESG スコアを基に作ったポートフォリオのパフォーマンスを検証する研究, 3) ESG 評価 (CSR 評価) が CFP に与える影響を検証する研究である。なおこの分類は宮井 (2008) を参考にした。

2.1 SRI ファンドと従来型のファンドのパフォーマンスを比較する研究

SRI ファンドと従来型のファンドのパフォーマンスを比較する研究の多くは、両ファンドのパフォーマンスには有意な差がないという結果を導いている。Bauer et al. [2005] では1990年1月から2001年3月における、米国・英国・ドイツのSRIファンド103本と従来型のファンドを309本のパフォーマンスを比較した。また、Benson et al. [2006] では1994年から2003年における、米国のSRIファンド185本と従来型のファンド6074本のパフォーマンスを比較した。どちらの研究においても2つのファンドに株式超過収益率に有意な差は確認できなかった。Leite and Cortez [2014] では4-factor model (Carhart [1997]) に local factor を加えた5-factor model によって欧州諸国のインターナショナル SRI ファンドと従来のファンドのパフォーマンスを比較した。Local factor を加えることでホームバイアスを考慮することができることが期待される。結果は、SRI ファンドと従来のファンドの株式超過収益率に有意な差は確認することができないというものであった。なお、使用したデータは2000年1月から2008年12月のものである。このように、SRI ファンドのパフォーマンスは従来型のファンドよりもパフォーマンスが優れているとは言い難いだろう。(参照; 小方 [2016] pp.121-122)

2.2 ESG ポートフォリオのパフォーマンスを検証する研究

以上のように既存のSRIファンドのパフォーマンスを検証する研究ではSRI投資の有効性を示すことができなかった。そこでDerwall et al. [2005]はSRIのパフォーマンスを検証するのにSRIファンドを使うのではなく、Innovest社の環境指標によってスクリーニングして得られるポートフォリオを用いることを提案した。この指標をもとに銘柄を高評価銘柄群と低評価銘柄群に分類し、双方のパフォーマンスを比較したのである。その結果、前者の方が後者よりも優位に株式超過収益率が高いことが示された。この研究を皮切りにESG指標によってスクリーニングして得られたポートフォリオのパフォーマンスを検証する研究が行われるようになった。Statman and Glushkov [2009]はKLD社のCSR評価を用いてスクリーニングを行い、Derwall et al. [2005]と同様の結果を得た。

しかし、上記の結果とは反対の結果を得ている研究もある。Brammer et al. [2006]は2002年のイギリス企業をEIRISスコアをもとに5つのポートフォリオを作り、それぞれのパフォーマンスを検証している。その結果、EIRISスコアの高い企業の株式収益率は低い傾向にあることを示した。また、その他にもESGポートフォリオのパフォーマンスがネガティブあるいはどちらとも言えないことを示している研究がある。Hong and Kacperczyk [2009]ではSin stocksで構成したポートフォリオがそうでないポートフォリオよりもパフォーマンスが高いことを示した。このように、ESGポートフォリオのパフォーマンスを検証する研究では統一的な見解が得られていないことがわかる。

2.3 ESG 評価（CSR 評価）が CFP に与える影響を検証する研究

この節では、企業のESG評価とその企業の財務パフォーマンスの関係について検証した研究について記す。これらの研究でも上記の研究と同様にコンセンサスが得られていない。ポジティブな結果を得ている研究としてはGhoul and Guedhami [2011]が挙げられる。Ghoul and Guedhami [2011]は1992年から2007年における12,915社のアメリカの企業を対象に資本コストとKLDスコアの関係进行分析した。その結果、KLDスコアの高い企業の資本コストは低い傾向にあることを示した（参照；加藤 [2018] pp.7）。一方で、ポジティブな結果を得られていない研究もある。Mittal et al. [2008]はネガティブな結果を導いている。Mittal et al. [2008]はS&P CNX Niftyのインド企業50社についてCSRとCFPに負の相関があることを示した。また、ポジティブでもネガティブでもないという結果を得ている研究としては、Nelling and Webb [2009]、Schreck [2011]が挙げられる。

以上（§2.1から2.3）のように、ESG投資（或いはSRI）に関する従来の研究の殆どは、その投資パフォーマンスに関する実証研究やESG評価（或いはCSR）が企業の財務パフォーマンスに与える影響に関する実証研究である。しかし、これらの研究ではESG投資の普及が中長期的な将来の社会全体に与える影響を考えることは難しい。このような先行研究では取り扱うことが困難な問題に対処することが本研究のモチベーションである。本研究ではESG投資が社会全体に与える影響を不確実性動学モデルによって表現し、ESG投資では社会の持続可能性と経済成長を同時に達成することが困難であることを示唆する。

3 モデルの設定

本稿で提示するモデルの基本的な設定は以下の通りである。

- 2 種類の企業と 2 種類の投資家が存在する市場を考える。
- 2 種類の企業とは ESG 企業・非 ESG 企業である。それぞれの企業の詳細な設定については § 2.1 で論じる。
- 2 種類の投資家とは、非 ESG 投資家・ESG 投資家である。投資家の合計数は $N \in \mathbb{N}$ であるとし、十分に大きな数であるとする。また、その比率は $w : (1-w) (w \in [0, 1])$ であるとする。つまり、ESG 投資家の数が wN であり、非 ESG 投資家の数が $(1-w)N$ であるということである。また、 w, N は時刻に依らず一定であるとする。つまり、それぞれの投資家の数は時刻に依らず一定であるということである。それぞれの投資家の詳細な設定については § 3.2 で論じる。
- それぞれの時刻において両方の投資家は 1 社の企業の株式を 1 単位だけ所有している。時間は離散時間（シミュレーションでは分割の最小単位を 1 月にとった。）を考え、それぞれの投資家はそれぞれの時間においてどちらの企業の株式を保有するかに関する意思決定を行う。意思決定のメカニズムに関しては § 3.2 で論じる。
- したがって、すべての時刻において企業が投資家に保有されている株式の数の合計は投資家の数 N に等しい。そこで、時刻 t において ESG 企業の株式を保有している投資家が $q_e(t)N$ 、非 ESG 企業の株式を保有している投資家の数が $q_n(t)N = (1 - q_e(t))N$ となるような $q_e(t), q_n(t)$ を考え、 $Q_t = (q_e(t), q_n(t))^T$ （ここで、 T は行列の転置を表す。）を時刻 t における企業比率と定義する。また、 $q_e(t), q_n(t)$ をそれぞれ時刻 t における ESG 企業の企業比率、非 ESG 企業の企業比率と定義する。ただしここで、添え字 e, n はそれぞれ ESG 企業と非 ESG 企業を意味している。この決まりは本稿を通じて同じであるとする。
- 市場ではある時刻（その時刻は指数分布に従う確率変数である）に環境・社会ショックが発生し、このショックによって非 ESG 企業の収益率は低下する。このショックは環境・社会問題に対する消費者の問題意識が高まり非 ESG 企業の商品を購入しなくなることや、天然資源の枯渇によりその価格が高騰することなどを想定している。

以上の設定のもとで ESG 投資家の比率 w が中長期的な将来（次章のシミュレーションでは 50 年後を中長期的な将来として扱う）の社会の持続可能性と企業全体の成長率にどのような関係があるかを検証する。このモデルでは前者の指標として ESG 企業の比率の期待値を用いる。また、後者の指標としては二種類の企業成長率の（企業比率で重みづけをした）加重平均の期待値を用いる。また、このモデルの重要な特徴は企業比率の確率過程が Markov 過程によって表現されることである。次節以降では企業と投資家の具体的な設定について記し、次章でシミュレーションによってモデルを解き比較静学を行う。

3.1 企業

このモデルでは、企業の収益率が従う確率過程によってそれぞれの企業の特徴を表現する。以下、それぞれの企業の収益率の特徴について記す。

3.1.1 ESG 企業

ESG 企業は環境・社会ショックの影響を受けず、中長期的に同じ水準の収益率を保つことができるような企業を想定する。したがって、ESG 企業のリターンの確率過程はブラウン運動に従うことを仮定する。リターンの確率過程を $\{r_e(t)\}$ 、その平均とボラティリティを μ_e, σ_e とおくと次のように書くことができる。ただしここで $\{B_t\}$ は標準ブラウン運動を表す。

$$r_e(t) = \mu_e + \sigma_e B_t$$

3.1.2 非 ESG 企業

非 ESG 企業は ESG 問題に対する配慮のない企業を想定している。そのため、将来に発生する可能性のある環境・社会ショックによって成長率が低下する。したがって、非 ESG 企業の成長率はショックが発生する時刻（この時刻は指数分布に従うとする）以降は成長率が $\gamma(>0)$ 低下するとする。以上から非 ESG 企業の成長率の確率過程 $\{r_n(t)\}$ は、その平均とボラティリティをそれぞれ μ_n, σ_n とすると次の様に表される。

$$r_n(t) = \mu_n + \sigma_n B_t - \Gamma(t)$$

ただしここで、 $\Gamma(t)$ は平均が λ の指数分布に従う確率変数 τ を用いて次の様に書かれるとする。

$$\Gamma(t) = \begin{cases} 0 & (0 \leq t \leq \tau) \\ \gamma & (\tau \leq t) \end{cases}$$

以降ではこの γ のことを「環境・社会のショックの大きさ」（あるいは単に「ショックの大きさ」）と呼ぶことにする。

3.2 投資家

それぞれの投資家はすべての時刻においてどちらか一方の企業の株式を 1 単位だけ保有し、自らが株式を保有している企業の成長率が自ら設定した閾値を下回った場合にはその企業の株式を手放し、別の企業の株式を保有する。一方で閾値を下回らなかった場合にはそのままその企業の株式を保有し続ける。投資家は企業の期待収益率を CAPM 理論に基づいて設定し、閾値はその期待収益率に基にして定める。それぞれの投資家の閾値と期待収益率の関係についての詳細は後述（§ 2.2.1, 2.2.2）するが、その関係は投資家の種類（ESG 投資家・非 ESG 投資家）ごとに異なり、その違いによってそれぞれの投資家の特徴を表現する。それぞれの投資家の期待収益率の予想には誤差があると考えて、投資家の閾値は真の期待収益率から導かれる閾値を平均とする正規分布に従っているものとする。さらに、同じ投資家であっても時刻が変われば閾値の（従う確率分布は同じであるが）実現値は変化するものとする。この仮定を設定することで、企業比率を Markov 過程として表現することができる。この仮定は時刻に依存して投資家の予測誤差が変わると解釈することができるので、現実には整合的な仮定であると考えられる。また株式市場は流動的であり、株価は伸縮的であることを仮定する。したがって、株価が必要と供給に合わせてスムーズに調整されるため、投資家は株式の売買をコストゼロで自由にいつでも行うことができる。この仮定を設定するこ

とで、株価の変化を考慮に入れず、株式をどの投資家が保有しているかを考えるだけで済ませることができる。以下、それぞれの投資家がそれぞれの企業に対する閾値をどのように設定するかについて論じる。

3.2.1 ESG 投資家

ESG 投資家は将来に環境・社会ショックが発生すると考えており、それに伴う非 ESG 企業の成長率の低下を認識している。したがって、いまこの瞬間にショックが発生したとしてもその成長率が期待収益率を下回らない場合にのみ、その株式を保有することとする。よって、ESG 投資家の非 ESG 企業に対する閾値は期待収益率を収益率の低下分 γ を足した値になる。したがって、非 ESG 企業に対する閾値 X_n^1 は次の様に書くことができる。ただしここで、ESG 企業、非 ESG 企業それぞれの企業の β 値を β_e, β_n とし、無リスク利率を r_f 、市場ポートフォリオの成長率を r_m とした。また、投資家の閾値の分布の標準偏差を Σ とし、この値は全ての投資家について同じであるとする。またここで、添え字 1 は ESG 投資家を意味している。この決まりは本稿を通じて同じであるとする。

$$X_n^1 \sim N(r_f + \beta_n(r_m - r_f) + \gamma, \Sigma^2)$$

次に、ESG 投資家は ESG 企業の閾値をその予想期待収益率よりも $d > 0$ だけ低く設定すると仮定する。この仮定は、ESG 企業は中長期的に成長するという期待を表していると解釈できる。この仮定が妥当であるかを判断することは難しい。そのため、シミュレーションではこの仮定を外した場合、つまり $d = 0$ の場合についても考察する。以下では、この d を ESG プレミアムと呼ぶことにする。以上から ESG 企業に対する閾値 X_e^1 は次の様に表される。

$$X_e^1 \sim N(r_f + \beta_e(r_m - r_f) - d, \Sigma^2)$$

3.2.2 非 ESG 投資家

非 ESG 投資家は環境・社会ショックによる収益率の低下を認識していないと考えられるため、どちらかの企業に対する閾値も期待収益率と等しい値に設定する。したがって、非 ESG 投資家の ESG 企業、非 ESG 企業に対する閾値 X_e^0, X_n^0 は次のように表される。ただしここで、添え字 0 は非 ESG 投資家を意味している。この決まりは本稿を通じて同じであるとする。

$$X_e^0 \sim N(r_f + \beta_e(r_m - r_f), \Sigma^2)$$

$$X_n^0 \sim N(r_f + \beta_n(r_m - r_f), \Sigma^2)$$

3.3 企業比率の確率過程と市場の成長率

このモデルでは ESG 投資家の比率 w によって、中長期的将来（§ 3. のシミュレーションでは 50 年後を考える）における ESG 企業比率の期待値と市場全体の平均成長率の期待値がどのようにに変化するかを検証する。これらはそれぞれ社会の持続可能性と企業の中長期的成長を表す指標になると考えられる。したがって、以上の検証を行うことで、ESG 投資の普及が社会の持続可能性と企業の中長期的成長に与える影響について分析することができる。そこでこの節では時刻 t における企業比率と市場の平均成長率を導出する方法を提示する。

3.3.1 企業比率の確率過程

この節では ESG 投資家と非 ESG 投資家の比率が $w : (1-w)$ であるときの企業比率の確率過程 $\{Q^w(t)\}$ を導出する。つまり、 $\{Q^w(t)\}$ を企業の成長率の確率過程 $\{r_e(t)\}$, $\{r_n(t)\}$ を用いて表現する。ESG 投資家が保有する株式の比率の確率過程を $\{Q^1(t)\}$, 非 ESG 投資家が保有する株式の比率の確率過程を $\{Q^0(t)\}$ とすると、 $Q^w(t)$ は次の式で表される。

$$Q^w(t) = wQ^1(t) + (1-w)Q^0(t), \forall t > 0$$

したがって、 $\{Q^w(t)\}$ を導出するためには、 $\{Q^1(t)\}$, $\{Q^0(t)\}$ をそれぞれ導出すればよい。まず、 $\{Q^1(t)\}$ について考える ($\{Q^0(t)\}$ についても同様である)。この確率過程は Markov 過程になる。つまり、その期のリターンが決定されれば、推移行列が決定され、次期の企業比率が決定される。この確率過程が Markov 過程になるためには、各時刻における投資家の閾値がそれぞれ独立であることを仮定する必要がある。したがって、以下ではこの仮定の下で議論を進める。また ESG 投資家の投資家のそれぞれの企業に対する閾値の確率変数を X_e^1 , X_n^1 とする。これらは上記 (§ 2.2) で仮定したようにそれぞれ正規分布になっている。ここで、投資家の行動に関して以下のような仮定を置く。

- ある時刻において投資家はある企業の株式を保有しているとする。その時刻において、その企業のリターンが投資家の閾値を下回らなかった場合には、投資家はその企業の株式を保有し続ける。
- ある時刻において投資家はある企業の株式を保有しているとする。その時刻において、その企業のリターンが投資家の閾値を下回り、もう一方の企業のリターンが投資家の閾値を下回らない場合には、投資家は現在保有している株式を手放してもう一方の企業の株式を保有する。
- ある時刻において投資家はある企業の株式を保有しているとする。その時刻において、その企業のリターンが投資家の閾値を下回り、かつもう一方の企業のリターンも閾値を下回る場合には、企業は現在保有している株式を保有し続ける。

以上のルールに従うと、時刻に t における ESG 投資家による企業比率 $Q^1(t) = (q_e^1(t), q_n^1(t))^T$ の推移確率行列 $P^1(t) (t \geq 0)$ が次の様に書かれることがわかる。

$$P^1(t) = \begin{pmatrix} p_{ee}(t) & p_{en}(t) \\ p_{ne}(t) & p_{nn}(t) \end{pmatrix}$$

ただし、

$$p_{ee}(t) = \mathbb{P}[X_e^1 \leq r_e(t)] + \mathbb{P}[X_e^1 > r_e(t), X_n^1 > r_n(t)]$$

$$p_{en}(t) = \mathbb{P}[X_e^1 > r_e(t), X_n^1 \leq r_n(t)]$$

$$p_{ne}(t) = \mathbb{P}[X_e^1 \leq r_e(t), X_n^1 > r_n(t)]$$

$$p_{nn}(t) = \mathbb{P}[X_n^1 \leq r_n(t)] + \mathbb{P}[X_e^1 > r_e(t), X_n^1 > r_n(t)]$$

ここで、 $p_{ee}(t)$ は時刻 t において ESG 企業の株式を保有しているという条件の下で、時刻 $t+1$ において ESG 企業の株式を保有する (条件付き) 確率であると解釈できる。 p_{en} , p_{ne} , p_{nn} についても同様である。したがって、 $Q^1(t)$ は推移確率行列 $P^1(t)$ を用いて次のように書くことができることがわかる。

$$Q^1(t+1) = P^1(t)Q^1(t)$$

また $Q^1(0)$ を所与とすると $Q^1(t)$ は次のように書ける。

$$Q^1(t) = P^1(t-1)P^1(t-2)\dots P^1(0)Q^1(0)$$

また、全く同様の方法で非 ESG 投資家による企業比率 $\{Q^0(t)\}$ は次の様に表される。

$$Q^0(t) = P^0(t-1)P^0(t-2)\dots P^0(0)Q^0(0)$$

以上から、 $Q^1(0)$ 、 $Q^0(0)$ を所与として、ESG 投資家の比率が w である場合の時刻 t における企業比率 $Q^w(t)$ は次の式で表されることがわかる。

$$Q^w(t) = w(P^1(t-1)P^1(t-2)\dots P^1(0)Q^1(0)) + (1-w)(P^0(t-1)P^0(t-2)\dots P^0(0)Q^0(0))$$

$P^i(t) (i=0, 1)$ はそれぞれ $\{r_e(t)\}$ 、 $\{r_n(t)\}$ によって定まるので、 $Q^w(t)$ が $r_e(s)$ 、 $r_n(s) (0 \leq s \leq t)$ を用いて表された。また $Q^w(t)$ は $w=0$ における企業比率 $Q^0(t)$ と $w=1$ における企業比率 $Q^1(t)$ の w で重み付けした加重平均で表されていることがわかる。したがって、 $q_e^w(t)$ は w に関して単調である ($q_n^w(t)$ についても同様である。) ことがわかる。ただしここで、 $(q_e^w(t), q_n^w(t))^T = Q^w(t)$ と定義している。故に、ESG 投資家の比率の増加によって ESG 企業比率の期待値がどのように変化するかを検証するには、 $\mathbb{E}[q_e^0(t)]$ と $\mathbb{E}[q_e^1(t)]$ の大小関係を比べればよいことがわかる。言い換えると、 $\mathbb{E}[q_e^0(t)] > \mathbb{E}[q_e^1(t)]$ の場合には ESG 投資家の比率の増加が ESG 企業比率の期待値の減少をもたらす、 $\mathbb{E}[q_e^0(t)] < \mathbb{E}[q_e^1(t)]$ の場合には ESG 投資家の比率の増加が ESG 企業比率の期待値の増加をもたらすことがわかる。また、初期値は $Q^w(0) = (0.5, 0.5)^T$ と設定することにする。

3.3.2 市場の平均成長率

市場の成長率はその時刻におけるそれぞれの企業の成長率を企業比率で重み付けして加重平均をとった値として定義する。したがって、時刻 t における市場の成長率 $R^w(t)$ は次の式で表される。

$$R^w(t) = q_e^w(t)r_e(t) + q_n^w(t)r_n(t)$$

さらに、 $q_e^w(t)$ 、 $q_n^w(t)$ が w に関して単調であることから $R^w(t)$ も w に関して単調であることがわかる。したがって、企業比率の場合と同様に考えることができる。つまり、 $\mathbb{E}[R^0(t)] > \mathbb{E}[R^1(t)]$ の場合には ESG 投資家の比率の増加が市場の成長率の期待値の減少をもたらす、 $\mathbb{E}[R^0(t)] < \mathbb{E}[R^1(t)]$ の場合には ESG 投資家の比率の増加が市場の成長率の期待値の増加をもたらす。

4 シミュレーション

この章では以上の設定を踏まえてモデルを解く。しかし、このモデルを解析的に解くことは難しいと思われるので、本稿では特定の企業のパラメータを用いてシミュレーションを行うことでモデルを解く。§3.1 ではパラメータの設定について §3.2 ではそれぞれのシミュレーションの結果について記す。最後に §3.3 ではシミュレーションの結果を踏まえて、このモデルのインプリケーションについて議論する。

4.1 シミュレーションに用いたパラメータ

本稿では 2017 年から 2019 年における米国のソフトウェア産業を例にとってシミュレーションを行う。そこで、ESG 企業として Microsoft を、非 ESG 企業として Facebook を用いることにした。表 1 はそれぞれの企業 2017 年から 2019 年の ESG スコアを表している。このデータは Thomson Reuters が公表している ESG スコアであり、数値が高い程 ESG 評価が高い。どのファクター

表 1 ESG scores (Thomson Reuters)

		Microsoft	Facebook
2017 年	E score	77.05	38.48
	S score	90.21	56.7
	G score	94.34	55.32
	Total score	90.29	53.53
2018 年	E score	77.78	40.71
	S score	97.69	59.42
	G score	93.99	31.18
	Total score	93.21	43.76
2019 年	E score	78.65	47.91
	S score	97.72	59.64
	G score	93.67	47.95
	Total score	93.2	52.6

表 2 各企業のパラメータ

	平均	ボラティリティ	β 値	α 値
Microsoft (ESG 企業)	0.0267	0.0194	0.9270	0.0168
Facebook (非 ESG 企業)	0.0179	0.0257	1.3155	0.0058
S&P500 (マーケットポートフォリオ)	0.0103	0.0109	1	-

においても Microsoft のスコアの方が Facebook のスコアよりも高いので、Microsoft を ESG 企業、Facebook を非 ESG 企業として用いることが妥当であると考えられる。また、表 2 はそれぞれの企業の成長率の平均、成長率のボラティリティ、 β 値、 α 値（成長率の平均－期待収益率）を表している。これらのパラメータは 2017 年 1 月から 2019 年 1 月の月次収益率を用いて推定している。ただし、配当は考慮していない。無リスク利子率としては米国の 30 年物国債の利子率を用い、マーケットポートフォリオとしては S&P500 を用いた。

4.2 シミュレーションの結果

50 年（600 か月）後における ESG 企業の割合の期待値 $\mathbb{E}[q^w(t)]$ と、そのときの市場全体の成長率の加重平均の期待値 $\mathbb{E}[R^w(t)]$ が ESG 投資家の w 比率に応じてどのように変化するかをシミュレーションする。前述の通り、前者は社会の持続可能性、後者は市場の中長期的成長率の指標になる。このシミュレーションによって、ESG 投資がこの 2 つを両立することができるか、また両立できるとすればどのような条件の下で可能であるかを検証することができる。そこで ESG プレミアム d 、ESG 企業の α 、環境・社会ショックまでの時間 λ 、環境・社会ショックの大きさ γ の 4 種類の外生変数を変化させて比較静学を行う。ただし、ESG 企業の α に関する比較静学以外では、両企業の環境・社会ショックがおこる前における成長率の平均 μ_e, μ_n を $\alpha=0$ となるように調整することにする。つまり、企業の成長率の平均を実際の成長率の平均から α を差し引いた値として用いることにする。このような調整をしたのは、 α の値の違いがモデルの内生変数にもたらす影響を取り除くためである。また、 λ の単位は月である。§ 3.2.1 では両企業の α を 0 に調整した上で、ESG プレミアム、ショックまでの時間、ショックの大きさに関して比較静学を行う。§ 3.2.2

ではショックまでの時間, ショックの大きさを所与とした上で, ESG 企業の α と ESG プレミアムに関して比較静学を行うことにする。なお, それぞれのシミュレーションは $w=0$ と $w=1$ の場合のみで行っている。シミュレーションの結果では $w=0.25, 0.5, 0.75$ の場合についても記しているが, この値は $w=0$ と $w=1$ における結果をもとに線形補完したものである。上記の通り (§ 3.3.1), $q_e^w(t)$, $R^w(t)$ がそれぞれ $q_e^0(t)$ と $q_e^1(t)$, $R^0(t)$ と $R^1(t)$ の w で重み付けした加重平均で表されることからこのような線形補完が可能になる。

4.2.1 比較静学 1

この節では, 両企業の α を 0 に調整した上で, ESG プレミアム, ショックまでの時間, ショックの大きさに関して比較静学を行う。ESG プレミアム d を $d=0, 0.2, 0.4$, ショックまでの時間 λ を $\lambda=12, 120, 360$, ショックの大きさ γ を $\gamma=0.2, 0.4, 0.6$ と変化させてそれぞれの場合に $t=600$ における ESG 企業の比率と成長率の平均がどのようになるかを検証する。また, 投資家の閾値の分布の標準偏差 Σ は $\Sigma=0.01$ としている。またシミュレーションの回数は 30000 回であり, その標本平均を計算している。このシミュレーションの結果は表 3, 表 4, 表 5 に示した。それぞれ $d=0, d=0.2, d=0.4$ の場合である。なお, 表の 2 列目の " q_e " は $t=600$ における ESG 企業比率を, " R " は $t=600$ における成長率の平均を, " $CI(q_e)$ " は ESG 企業比率の 95% 信頼区間を, " $CI(R)$ " は成長率の 95% 信頼区間を表している。この表記については以下の比較静学についても同様であるとする。以下, 結果について記す。

ESG プレミアム, ショックまでの時間, ショックの大きさの水準に依らず, ESG 投資家比率の増加に伴い ESG 企業比率が増加する一方で市場全体の成長率は減少することがわかる。この結果は ESG 投資が普及することによって, 社会の持続可能性は向上するが市場の成長は実現しないことを意味している。つまり, ESG 投資によって社会の持続可能性と経済成長を両立することは難しいということである。また, ESG 投資家の比率を所与としたときには, ESG プレミアムの増加は ESG 企業比率の増加と市場の成長率の低下をもたらすこともわかった。この結果は, ESG 企業が中長期的に成長するという期待が大きければ, 社会の持続可能性が向上するが市場の成長率は低下することを示唆している。また, ESG 投資家の比率を所与としたときには, ショックの大きさの増加は ESG 企業比率の増加と市場の平均成長率の減少をもたらすことがわかった。さらに, ESG 投資家の比率を所与として, ショックまでの時間を増加させると, ESG 企業比率が減少することがわかった。しかしそのとき, 市場の成長率は必ずしも増加するわけではなかった。 $\lambda=12$ と $\lambda=120$ では市場の成長率に有意な差が確認できなかった。ただし, $\lambda=360$ 場合にはこの上の 2 つの場合よりも市場の成長率が有意に大きくなった。今後の研究では, シミュレーションの回数を増やすことで頑強な結果を得られるようにすることが期待される。

4.2.2 比較静学 2

この節では, ショックまでの時間・ショックの大きさ・閾値の分布の標準偏差をそれぞれ $(\lambda, \gamma, \Sigma)=(120, 0.4, 0.01)$ とした上で, ESG 企業の α と ESG プレミアムに関して比較静学を行うことにする。ESG 企業の α と ESG プレミアムはそれぞれ $\alpha=-0.5, -0.25, 0, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0$, $d=0, 0.2, 0.4$ と変化させることにする。またシミュレーションの回数は 10000 回であり, その標

本平均を計算している。この比較静学の結果は表6、表7、表8のようになった。それぞれ $d=0$, $d=0.2$, $d=0.4$ の場合である。以下、結果について記す。

α の値が十分に小さいときには、ESG投資家の比率の増加がESG企業比率の増加と市場の成長率の減少をもたらすという結果が得られた。しかし、 α が十分に大きいとき ($\alpha=2.0$) にはESG投資家の比率の増加がESG企業比率の増加と市場の成長率の増加をもたらすという結果が得られた。したがって、ESG企業の α が十分に大きいときには、社会の持続可能性と経済成長が両立できることを意味している。しかし、このトレードオフの解消を実現するような α は非現実的なほど大きな値である。このことから、ESG投資による社会の持続可能性と経済成長の両立は極めて限定的な場合でしか可能でないことがわかる。またこのような場合には、ESG投資家の比率が0であってもESG企業比率がほぼ1になるため、ESG投資を行う意味がほとんどないようにも思われる。ESG投資を行わなくても、非ESG企業が自然に淘汰されているのである。また、ESG投資家比率を所与としたときには、ESG企業の α が増加すると、ESG企業比率と市場の成長率がともに増加することがわかる。

4.3 ディスカッション

以上の比較静学の結果は概ね次のように要約することができる。

1. ほとんどのケース ($\alpha=2.0$ 以外のケース) では、ESG投資家比率の増加に伴いESG企業の比率が増加する一方で市場の平均成長率は小さくなる。
2. ESG企業の α が十分に大きいとき ($\alpha=2.0$) には、ESG投資家比率の増加に伴いESG企業の比率の増加と市場の平均成長率の増加が達成される。しかしその α の値は非現実的なほど大きい。
3. ESG投資家比率を所与としたとき、ESG企業の α の増加はESG企業の割合の増加と市場平均成長率の増加をもたらす。

1つ目の結果と2つ目の結果は、現実的な仮定のもとでは、ESG投資によって社会の持続可能性と経済成長のトレードオフ関係を解消することができないことを示唆している。このモデルでは非ESG企業だけがショックによって成長率が低下するので、長期的にはESG企業の α の方が非ESG企業の α よりも平均的に大きくなる（ただし、比較静学2でESG企業の α を負の値に設定した場合は例外である。）。しかしそれに関わらず、ESG企業の増加によって市場全体の α が低下している。このことは、一見不可解に思われるかもしれない。しかし、このような現象は、ESG投資家によるESG企業の過大評価或いは非ESG企業の過小評価によって市場の効率性が低下していることから生じていると考えたと説得的に説明することができるだろう。つまり、ESG投資が行われていない場合には購入されていたはずの成長率の高い非ESG企業の株式（非ESG企業の株式は平均的には成長率が低いものの、中には成長率の高い株式も存在する）が、ESG投資によって購入されなくなってしまうのである。その代わりにそれよりも成長率の低いESG企業の株式が購入されてしまうため、市場全体の成長率が低下してしまうと考えられる。このように、ESG

投資には非 ESG 企業のうちで成長率が高いものを淘汰してしまう傾向がある。確かに、それによって社会の持続可能性は向上させることはできる。しかし、市場の成長率を高めることはできないのである。

3つ目の結果に関しては、ESG 企業の α の増加が起これば持続可能な社会と経済成長が同時に達成されることを示している。ESG 企業の α を増加させてこの2つの両立を目指すことは可能であるかもしれない。例えば、消費者を倫理的に教育することなどが考えられる。消費者が十分な倫理観を持つようになれば、環境や社会に悪影響をもたらす商品を購入せず、ESG 企業の商品をより購入するようになると考えられる。そのようになると、ESG 企業の α が上昇することが期待される。このように ESG 企業の企業価値を高める方法を考えることは今後の重要な研究課題であるだろう。

以上の3つの結果から、我々が持続可能性と経済成長を両立した社会をつくるためには、ESG 投資を普及させるというよりは寧ろ、ESG 企業の企業価値を高く評価する社会を目指すことが重要であると考えられる。

5 結論と今後の研究課題

本研究では ESG 投資の普及が中長期的将来の社会の持続可能性と企業全体の成長に与える影響を、Markov 過程を用いた不確実性動学モデルによって分析した。現実的な仮定の下では、ESG 投資が普及することで社会の持続可能性が高まる一方で、市場全体の成長率は低下するという結果が得られた。さらに社会の持続可能性と経済成長を両立するためには、ESG 企業の α が大きくなるような社会を目指すことが重要であることもわかった。

一方でこの研究には次のような課題が残されている。まず1つ目は、本研究のモデルはショックの大きさが ESG 企業の比率に依存しないという仮定を置いていることである。実際には、社会ショックはともかく環境ショックの大きさは、ESG 企業の比率が大きい場合には小さくなるかもしれない。例えば、ESG 企業が増えることで天然資源の枯渇が抑えられ、非 ESG 企業の天然資源の調達費用の増加が抑制される可能性があるというような場合が考えられる。このような場合には、ESG 企業比率の上昇が市場全体の成長率にポジティブな影響を与えることが予想される。したがって、ESG 投資の普及が ESG 企業の比率の増加と市場全体の成長率の増加の両方をもたらす可能性がある。今後の研究では、ショックの大きさが ESG 企業の比率に影響をもつという仮定を置いたときにモデルの解がどのように修正されるかを検証することが期待される。

次に2つ目には、本研究のモデルでは ESG プレミアムを恣意的に設定していることである。したがって、今後はこのパラメータをデータから推定する方法を研究することが期待される。このモデルは単純な Markov 過程を用いているので、実際の企業比率のデータと企業の成長率のデータから推移行列を推定することで、実務的に利用可能な形でそのパラメータを推定できる可能性がある。そのような研究によって ESG 投資家の性質を定量的に表現できるようになるだろう。

参考文献

- [1] 伊藤邦雄 [2018] 「伊藤レポート 2.0 持続的成長に向けた長期投資 (ESG・無形資産投資) 研究会報告書」
- [2] 小方信幸 [2016] 『社会的責任投資の投資哲学とパフォーマンス ESG 投資の本質を歴史からたどる』 同文館出版
- [3] 加藤康之 [2018] 『ESG 投資の研究 理論と実践の最前線』 一灯舎
- [4] 宮井博 [2008] 「ESG ファクターのパフォーマンス効果研究サーベイ」 『NFI リサーチレビュー』 2008 年 5 月号
- [5] 湯山智教・白須洋子・森平爽一郎 [2018] 「ESG 開示スコアとパフォーマンス」 『証券アナリストジャーナル』 57 (10), pp.72-83
- [6] Bauer, R., K.Koedijk, and R.Otten [2005] "International evidence on ethical mutual fund performance and investment style." *Journal of Banking and Finance* 29 (7), pp.1751-1767.
- [7] Benson, K.L., T.J.Brailsford, and J.E.Humphrey [2006] "Do socially responsible fund managers really invest differently?" *Journal of Business Ethics* 65, pp.337-357.
- [8] Brammer, S., C.Brooks, and S.Pavelin [2006] "Corporate social performance and stock returns: UK evidence from disaggregated measures," *Financial Management*, 35 (3), pp.97-116.
- [9] Brown, J. and M. Fraser [2006], "Approaches and Perspectives in Social and Environmental Accounting: An Overview of the Conceptual Landscape," *Business Strategy and the Environment* 15 (2), pp.103-117.
- [10] Carhart, M. [1997] "On persistence in mutual fund performance," *The Journal of Finance* 52, pp.57-82.
- [11] Derwall, J., N.Guenster, R.Bauer, and K.Koedijk [2005] "The eco-efficiency premium puzzle," *Financial Analysts Journal*, 61 (2), pp.51-63.
- [12] Drucker, P. F. [1984] "The New Meaning of Corporate Social Responsibility," *California Management Review* 26, pp.53-63.
- [13] El Ghouli, S., O.Guedhami, C.C.Y.Kwok, and D.R. Mishra [2011] "Does corporate social responsibility affect the cost of capital?" *Journal of Bankings and Finance*, Volume 35, Issue 9, September 2011, pp.2388-2406
- [14] Friedman, M. [1970] "The Social Responsibility of Business is to Increase its Profits," *New York Times Magazine* (September 13).
- [15] Friede, G., T.Busch, and A.Bassen. [2015] "ESG and financial performance: aggregated evidence from more than 2000 empirical studies," *Journal of Sustainable Finance and Investment* 5.4 (2015): pp.210-233.
- [16] Henderson, D. [2001], *Misguided Virtue: False Notions of Corporate Social Responsibility*, Institute of Economic Affairs, London.
- [17] Hong, H., and M. Kacperczyk [2009] "The price of sin: The effects of social norms on markets," *Journal of Financial Economics*, 93 (1), pp.15-36.
- [18] Jensen, M. C. [2001] "Value Maximization, Stakeholder Theory, and the Corporate Objective Function," *Business Ethics Quarterly* 12 (2), pp.235-256
- [19] Leite, P., M.C.Cortez [2014] "Style and performance of international socially responsible funds in Europe," *Research in International Business and Finance* 30, pp.248-267.
- [20] Margolis, J. D., J. P. Walsh [2003] "Misery loves companies: rethinking social initiatives by business," *Administrative Science Quarterly* 48, pp.268-305.
- [21] Margolis, J.D., H.A.Elfenbein, and J.P.Walsh, [2009] "Does it Pay to Be Good. . . And Does it Matter? A Meta-Analysis of the Relationship between Corporate Social and Financial Performance." Working Paper. SSRN eLibrary.
- [22] Mintzberg, H. [1983] "The Case for Corporate Social Responsibility," *Journal of Business Strategy* 4 (2), pp. 3-16.
- [23] Mittal, R. K., N.Sinha, and A.Singh [2008] "An analysis of linkage between economic value added and

corporate social responsibility,” *Management Decision*, 46 (9), pp.1437-1443.

- [24] Nelling, E., and E. Webb [2009] “Corporate social responsibility and financial performance: the ‘virtuous circle’ revisited,” *Review of Quantitative Finance and Accounting* 32, pp.197-209.
- [25] Orlitzky, M., F.L.Schmidt, and S.L.Rynes [2003] “Corporate social and financial performance: a meta-analysis,” *Organ. Stud.* 24, pp.403-441.
- [26] Porter, M. E. and M. R. Kramer [2002], “The Competitive Advantage of Corporate Philanthropy,” *Harvard Business Review* 80 (12), pp.56-69.
- [27] Schreck, P. [2011]. “Reviewing the business case for corporate social responsibility: New evidence and analysis,” *Journal of Business Ethics*, 103, pp.167-188.
- [28] GPIF 「ESG 指数を選定しました」 2017 年 7 月 3 日

表 3 $d=0, \alpha=0$ の場合

d=0			w=0	w=0.25	w=0.5	w=0.75	w=1
$\lambda=12$	$\gamma=0.2$	q_e	0.6143	0.644375	0.67445	0.704525	0.7346
		R	0.2073	0.2039	0.2005	0.1971	0.1937
		$CI(q_e)$	(0.6147, 0.6254)				(0.7297, 0.7394)
		$CI(R)$	(0.2020, 0.2125)				(0.1884, 0.1991)
	$\gamma=0.4$	q_e	0.7241	0.766225	0.80835	0.850475	0.8926
		R	0.14	0.130275	0.12055	0.110825	0.1011
		$CI(q_e)$	(0.7192, 0.7290)				(0.8892, 0.8960)
		$CI(R)$	(0.1347, 0.1452)				(0.0957, 0.1066)
	$\gamma=0.6$	q_e	0.8122	0.851025	0.88985	0.928675	0.9675
		R	0.0867	0.074825	0.06295	0.051075	0.0392
		$CI(q_e)$	(0.8079, 0.8165)				(0.9656, 0.9694)
		$CI(R)$	(0.0814, 0.0920)				(0.0338, 0.0447)
$\lambda=120$	$\gamma=0.2$	q_e	0.6044	0.633825	0.66325	0.692675	0.7221
		R	0.2043	0.2016	0.1989	0.1962	0.1935
		$CI(q_e)$	(0.5990, 0.6098)				(0.7172, 0.7270)
		$CI(R)$	(0.1990, 0.2097)				(0.1881, 0.1988)
	$\gamma=0.4$	q_e	0.6977	0.7441	0.7905	0.8369	0.8833
		R	0.1292	0.121975	0.11475	0.107525	0.1003
		$CI(q_e)$	(0.6927, 0.7027)				(0.8798, 0.8868)
		$CI(R)$	(0.1238, 0.1346)				(0.0948, 0.1057)
	$\gamma=0.6$	q_e	0.7702	0.817625	0.86505	0.912475	0.9599
		R	0.0739	0.066075	0.05825	0.050425	0.0426
		$CI(q_e)$	(0.7656, 0.7748)				(0.9579, 0.9620)
		$CI(R)$	(0.0684, 0.0795)				(0.0372, 0.0481)
$\lambda=360$	$\gamma=0.2$	q_e	0.5765	0.60585	0.6352	0.66455	0.6939
		R	0.2232	0.22085	0.2185	0.21615	0.2138
		$CI(q_e)$	(0.5711, 0.5820)				(0.6888, 0.6990)
		$CI(R)$	(0.2178, 0.2286)				(0.2084, 0.2192)
	$\gamma=0.4$	q_e	0.6386	0.6892	0.7398	0.7904	0.841
		R	0.1586	0.151325	0.14405	0.136775	0.1295
		$CI(q_e)$	(0.6333, 0.6439)				(0.8370, 0.8450)
		$CI(R)$	(0.1531, 0.1641)				(0.1240, 0.1351)
	$\gamma=0.6$	q_e	0.6922	0.750025	0.80785	0.865675	0.9235
		R	0.1098	0.101125	0.09245	0.083775	0.0751
		$CI(q_e)$	(0.6871, 0.6973)				(0.9206, 0.9264)
		$CI(R)$	(0.1041, 0.1156)				(0.0695, 0.0806)

表4 $d=0.2, \alpha=0$ の場合

$d=0.2$		$w=0$	$w=0.25$	$w=0.5$	$w=0.75$	$w=1$
$\lambda=12$ $\gamma=0.2$	q_e	0.6182	0.669125	0.72005	0.770975	0.8219
	R	0.2041	0.193775	0.18345	0.173125	0.1628
	$CI(q_e)$	(0.6129, 0.6236)				(0.8177, 0.8261)
	$CI(R)$	(0.1988, 0.2094)				(0.1575, 0.1681)
$\gamma=0.4$	q_e	0.725	0.7752	0.8254	0.8756	0.9258
	R	0.136	0.1218	0.1076	0.0934	0.0792
	$CI(q_e)$	(0.7201, 0.7299)				(0.9229, 0.9287)
	$CI(R)$	(0.1308, 0.1413)				(0.0738, 0.0846)
$\gamma=0.6$	q_e	0.8155	0.85675	0.898	0.93925	0.9805
	R	0.0871	0.07425	0.0614	0.04855	0.0357
	$CI(q_e)$	(0.8113, 0.8198)				(0.9789, 0.9820)
	$CI(R)$	(0.0818, 0.0924)				(0.0303, 0.0410)
$\lambda=120$ $\gamma=0.2$	q_e	0.6046	0.658125	0.71165	0.765175	0.8187
	R	0.2012	0.19185	0.1825	0.17315	0.1638
	$CI(q_e)$	(0.5992, 0.6100)				(0.8144, 0.8229)
	$CI(R)$	(0.1958, 0.2065)				(0.1586, 0.1691)
$\gamma=0.4$	q_e	0.6939	0.75115	0.8084	0.86565	0.9229
	R	0.1313	0.119275	0.10725	0.095225	0.0832
	$CI(q_e)$	(0.6888, 0.6989)				(0.9199, 0.9258)
	$CI(R)$	(0.1259, 0.1367)				(0.0778, 0.0886)
$\gamma=0.6$	q_e	0.7644	0.8174	0.8704	0.9234	0.9764
	R	0.0795	0.068225	0.05695	0.045675	0.0344
	$CI(q_e)$	(0.7597, 0.7690)				(0.9748, 0.9781)
	$CI(R)$	(0.0740, 0.0851)				(0.0290, 0.0398)
$\lambda=360$ $\gamma=0.2$	q_e	0.5801	0.6091	0.6381	0.6671	0.6961
	R	0.2236	0.22105	0.2185	0.21595	0.2134
	$CI(q_e)$	(0.5746, 0.5855)				(0.6910, 0.7011)
	$CI(R)$	(0.2182, 0.2290)				(0.2080, 0.2188)
$\gamma=0.4$	q_e	0.6405	0.69025	0.74	0.78975	0.8395
	R	0.1591	0.1522	0.1453	0.1384	0.1315
	$CI(q_e)$	(0.6353, 0.6458)				(0.8355, 0.8435)
	$CI(R)$	(0.1536, 0.1646)				(0.1261, 0.1370)
$\gamma=0.6$	q_e	0.693	0.750475	0.80795	0.865425	0.9229
	R	0.1103	0.101925	0.09355	0.085175	0.0768
	$CI(q_e)$	(0.6880, 0.6981)				(0.9200, 0.9258)
	$CI(R)$	(0.1045, 0.1160)				(0.0713, 0.0824)

表 5 $d=0.4, \alpha=0$ の場合

$d=0.4$			$w=0$	$w=0.25$	$w=0.5$	$w=0.75$	$w=1$
$\lambda=12$	$\gamma=0.2$	q_e	0.6182	0.686	0.7538	0.8216	0.8894
		R	0.2043	0.1836	0.1629	0.1422	0.1215
		$CI(q_e)$	(0.6128, 0.6235)				(0.8859, 0.8928)
		$CI(R)$	(0.1990, 0.2097)				(0.1163, 0.1267)
	$\gamma=0.4$	q_e	0.7312	0.788275	0.84535	0.902425	0.9595
		R	0.1357	0.11645	0.0972	0.07795	0.0587
		$CI(q_e)$	(0.7263, 0.7360)				(0.9574, 0.9617)
		$CI(R)$	(0.1305, 0.1410)				(0.0533, 0.0640)
	$\gamma=0.6$	q_e	0.8103	0.854975	0.89965	0.944325	0.989
		R	0.0855	0.06995	0.0544	0.03885	0.0233
		$CI(q_e)$	(0.8060, 0.8146)				(0.9878, 0.9901)
		$CI(R)$	(0.0802, 0.0908)				(0.0179, 0.0287)
$\lambda=120$	$\gamma=0.2$	q_e	0.6017	0.674225	0.74675	0.819275	0.8918
		R	0.2047	0.184075	0.16345	0.142825	0.1222
		$CI(q_e)$	(0.5963, 0.6071)				(0.8884, 0.8952)
		$CI(R)$	(0.1993, 0.2100)				(0.1170, 0.1274)
	$\gamma=0.4$	q_e	0.6938	0.7594	0.825	0.8906	0.9562
		R	0.1362	0.118025	0.09985	0.081675	0.0635
		$CI(q_e)$	(0.6887, 0.6988)				(0.9540, 0.9584)
		$CI(R)$	(0.1308, 0.1416)				(0.0582, 0.0688)
	$\gamma=0.6$	q_e	0.7685	0.822775	0.87705	0.931325	0.9856
		R	0.079	0.066925	0.05485	0.042775	0.0307
		$CI(q_e)$	(0.7638, 0.7731)				(0.9843, 0.9869)
		$CI(R)$	(0.0734, 0.0846)				(0.0253, 0.0361)
$\lambda=360$	$\gamma=0.2$	q_e	0.5717	0.648275	0.72485	0.801425	0.878
		R	0.2214	0.19965	0.1779	0.15615	0.1344
		$CI(q_e)$	(0.5662, 0.5771)				(0.8744, 0.8816)
		$CI(R)$	(0.2159, 0.2268)				(0.1292, 0.1396)
	$\gamma=0.4$	q_e	0.6381	0.7135	0.7889	0.8643	0.9397
		R	0.1633	0.142775	0.12225	0.101725	0.0812
		$CI(q_e)$	(0.6328, 0.6434)				(0.9371, 0.9423)
		$CI(R)$	(0.1578, 0.1688)				(0.0759, 0.0865)
	$\gamma=0.6$	q_e	0.69	0.7606	0.8312	0.9018	0.9724
		R	0.1126	0.0957	0.0788	0.0619	0.045
		$CI(q_e)$	(0.6850, 0.6951)				(0.9706, 0.9742)
		$CI(R)$	(0.1069, 0.1183)				(0.0397, 0.0504)

表 6 d=0 の場合

d=0		w=0	w=0.25	w=0.5	w=0.75	w=1
$\alpha = -0.5$	q_e	0.2408	0.31265	0.3845	0.45635	0.5282
	R	-0.2275	-0.236025	-0.24455	-0.253075	-0.2616
	$CI(q_e)$	(0.2328, 0.2488)				(0.5214, 0.5351)
	$CI(R)$	(-0.2393, -0.2158)				(-0.2723, -0.2508)
$\alpha = -0.25$	q_e	0.4574	0.516725	0.57605	0.635375	0.6947
	R	-0.0632	-0.07015	-0.0771	-0.08405	-0.091
	$CI(q_e)$	(0.4480, 0.4668)				(0.6874, 0.7021)
	$CI(R)$	(-0.0739, -0.0524)				(-0.1011, -0.0809)
$\alpha = 0$	q_e	0.6989	0.744175	0.78945	0.834725	0.88
	R	0.128	0.120175	0.11235	0.104525	0.0967
	$CI(q_e)$	(0.6902, 0.7076)				(0.8739, 0.8862)
	$CI(R)$	(0.1187, 0.1373)				(0.0872, 0.1061)
$\alpha = 0.25$	q_e	0.8351	0.86125	0.8874	0.91355	0.9397
	R	0.335	0.32985	0.3247	0.31955	0.3144
	$CI(q_e)$	(0.8280, 0.8422)				(0.9352, 0.9442)
	$CI(R)$	(0.3262, 0.3438)				(0.3053, 0.3234)
$\alpha = 0.5$	q_e	0.9179	0.930275	0.94265	0.955025	0.9674
	R	0.5474	0.544575	0.54175	0.538925	0.5361
	$CI(q_e)$	(0.9126, 0.9231)				(0.9641, 0.9708)
	$CI(R)$	(0.5386, 0.5562)				(0.5270, 0.5452)
$\alpha = 1.0$	q_e	0.9881	0.9903	0.9925	0.9947	0.9969
	R	1.0119	1.011625	1.01135	1.011075	1.0108
	$CI(q_e)$	(0.9861, 0.9901)				(0.9959, 0.9979)
	$CI(R)$	(1.0027, 1.0212)				(1.0015, 1.0201)
$\alpha = 2.0$	q_e	0.999	0.99925	0.9995	0.99975	1
	R	2.0122	2.0125	2.0128	2.0131	2.0134
	$CI(q_e)$	(0.9987, 0.9993)				(1.0000, 1.0000)
	$CI(R)$	(2.0029, 2.0215)				(2.0041, 2.0227)

表 7 $d=0.2$ の場合

$d=0.2$	$w=0$	$w=0.25$	$w=0.5$	$w=0.75$	$w=1$
$\alpha=-0.5$	q_e R $CI(q_e)$ $CI(R)$	0.2371 -0.225 (0.2291, 0.2451) (-0.2368, -0.2133)	0.340975 -0.2346	0.44485 -0.2442 -0.2538	0.6526 -0.2634 (0.6453, 0.6599) (-0.2739, -0.2530)
$\alpha=-0.25$	q_e R $CI(q_e)$	0.4531 -0.0642 (0.4437, 0.4625)	0.5526 -0.074025	0.6521 -0.08385 -0.093675	0.8511 -0.1035 (0.8446, 0.8575)
$\alpha=0$	$CI(R)$ q_e R $CI(q_e)$ $CI(R)$	(-0.0750, -0.0534) 0.6892 0.1249 (0.6804, 0.6980) (0.1154, 0.1344)	0.74765 0.112125	0.8061 0.09935 0.86455 0.086575	(-0.1133, -0.0936) 0.923 0.0738 (0.9179, 0.9280) (0.0644, 0.0833)
$\alpha=0.25$	q_e R $CI(q_e)$ $CI(R)$	0.826 0.3335 (0.8188, 0.8332) (0.3247, 0.3424)	0.859875 0.324475	0.89375 0.31545 0.927625 0.306425	0.9615 0.2974 (0.9578, 0.9651) (0.2882, 0.3065)
$\alpha=0.5$	q_e R $CI(q_e)$ $CI(R)$	0.9184 0.5437 (0.9132, 0.9236) (0.5350, 0.5525)	0.9353 0.53855	0.9522 0.5334 0.9691 0.52825	0.986 0.5231 (0.9837, 0.9882) (0.5140, 0.5322)
$\alpha=1.0$	q_e R $CI(q_e)$ $CI(R)$	0.9906 1.0158 (0.9889, 0.9924) (1.0067, 1.0249)	0.99275 1.015125	0.9949 1.01445 0.99705 1.013775	0.9992 1.0131 (0.9987, 0.9997) (1.0039, 1.0223)
$\alpha=2.0$	q_e R $CI(q_e)$ $CI(R)$	0.9993 2.0221 (0.9991, 0.9996) (2.0127, 2.0315)	0.999475 2.02225	0.99965 2.0224 0.999825 2.02255	1 2.0227 (1.0000, 1.0000) (2.0134, 2.0321)

表 8 $d=0.4$ の場合

$d=0.4$		$w=0$	$w=0.25$	$w=0.5$	$w=0.75$	$w=1$
$\alpha=-0.5$	q_e	0.2389	0.38315	0.5274	0.67165	0.8159
	R	-0.2333	-0.2504	-0.2675	-0.2846	-0.3017
	$CI(q_e)$	(0.2309, 0.2468)				(0.8091, 0.8227)
	$CI(R)$	(-0.2451, -0.2215)				(-0.312, -0.2914)
$\alpha=-0.25$	q_e	0.4583	0.57195	0.6856	0.79925	0.9129
	R	-0.0628	-0.08105	-0.0993	-0.11755	-0.1358
	$CI(q_e)$	(0.4489, 0.4677)				(0.9076, 0.9183)
	$CI(R)$	(-0.0737, -0.0519)				(-0.1456, -0.1259)
$\alpha=0$	q_e	0.6971	0.761925	0.82675	0.891575	0.9564
	R	0.1256	0.107725	0.08985	0.071975	0.0541
	$CI(q_e)$	(0.6884, 0.7059)				(0.9525, 0.9602)
	$CI(R)$	(0.1163, 0.1349)				(0.0449, 0.0632)
$\alpha=0.25$	q_e	0.832	0.86915	0.9063	0.94345	0.9806
	R	0.3331	0.320725	0.30835	0.295975	0.2836
	$CI(q_e)$	(0.8248, 0.8391)				(0.9779, 0.9832)
	$CI(R)$	(0.3243, 0.3418)				(0.2746, 0.2927)
$\alpha=0.5$	q_e	0.9195	0.93735	0.9552	0.97305	0.9909
	R	0.548	0.541675	0.53535	0.529025	0.5227
	$CI(q_e)$	(0.9143, 0.9247)				(0.9891, 0.9927)
	$CI(R)$	(0.5393, 0.5567)				(0.5136, 0.5318)
$\alpha=1.0$	q_e	0.9895	0.9921	0.9947	0.9973	0.9999
	R	1.015	1.014175	1.01335	1.012525	1.0117
	$CI(q_e)$	(0.9876, 0.9914)				(0.9997, 1.0001)
	$CI(R)$	(1.0058, 1.0242)				(1.0023, 1.0210)
$\alpha=2.0$	q_e	0.9992	0.9994	0.9996	0.9998	1
	R	2.0118	2.012075	2.01235	2.012625	2.0129
	$CI(q_e)$	(0.9988, 0.9995)				(1.0000, 1.0000)
	$CI(R)$	(2.0025, 2.0210)				(2.0036, 2.0222)