

Title	コロナショック下での債務超過バイオ企業の研究開発投資について
Author(s)	藤原, 孝男
Citation	年次学術大会講演要旨集, 38: 773-778
Issue Date	2023-10-28
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/19241
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

○藤原 孝男 (豊橋技術科学大学)
fujiwara.takao.tp@tut.jp

1. 序

最近の Nasdaq Biotechnology Index (NBI) は 2021 年以降、低下傾向を示し、コロナ禍によるバイオ新興企業向け資本市場への負の影響が生じている。多産多死の革新遂行によって[1-3]、多くが「死の谷」としての純損失状態に直面しているバイオ企業にとって[4-5]、正の自己資本が存続のリアルオプション指標であるという通説[6]がある。しかし、研究開発(R&D)期間の長いバイオ企業にとってリーマン・コロナショックのような資本市場の動揺期には、一時的に多くの債務超過企業が出現・存続し、既存の概念が通用しないように思われる(日本では債務超過による上場廃止猶予期間は1年で、NASDAQ では各基準の流通時価総額以上の経営によって上場維持可能となる)。

「死の谷」に直面し、常態的に純損失のバイオ企業が大多数を占めるが、市場でのショックによって短期間であっても、さらに債務超過企業が多く出現する中で、R&D 投資を継続できるとすればその理由・方法は何であろうか？

コロナショック時に債務超過に転入した企業とそこから転出した企業とでは R&D 投資にどのような相違があるのであろうか？

本稿でのバイオ企業とは生命科学の事業化の投資機会をリアルオプションとするポートフォリオとして定義する[7]。

ここでは、まず、US 証券取引委員会 (SEC) Electronic Data Gathering, Analysis, and Retrieval system (EDGAR) のデータベースから FY2020-22 の NBI の構成企業を対象に、R&D に関連する主要財務指標に関して、純利益・純損失・債務超過企業などの財務タイプ別に R&D 投資の特徴を分類する。次に、主に債務超過「遷移」企業の R&D 投資継続の特性解明に向けて、Bayesian Markov chain Monte Carlo (ベイジアン McMC) 解析を応用する。

研究目的は、コロナショック下での債務超過バイオ企業の R&D 投資における起業家精神の特徴を理解することにある。

2. 債務超過企業のリアルオプション公式の仮定

従来の常態における Real Option Analysis

(ROA)式は S.C. Myers (1977)[6]から、

$$E = \text{Max}(A - D, 0) \quad (1)$$

損益計算書・貸借対照表から、試算表等式 (trial balance equation) へは、

$$R - C \equiv NI \quad (2)$$

$$E_1 \equiv A_1 - D_1 \quad (3)$$

$$E_1 - E_0 = NI \quad (4)$$

$$(A_1 - D_1) - E_0 = R - C \quad (5)$$

$$A_1 + C = D_1 + E_0 + R \quad (6)$$

$E_0, R \rightarrow 0$ と仮定し、

$$CCE + R\&D \approx D_1$$

故に、資本市場の混乱期においても、資金制約と CCE の市場での頑強性から、債務超過の場合のコールとしての ROA 式は以下のような定式化の可能性がある：

$$CCE \approx \max(D_1 - R\&D, 0) \quad (7)$$

ここで、 R :収益、 C :費用、 NI :損益、 E :自己資本、 A :資産、 D :負債、 CCE :現金・現金等価資産、 $R\&D$:R&D 費、添字の 0:期首、1:期末をそれぞれ意味する。

因みに、リスクの高いスタートアップへの融資は、資本コストの観点から不自然に聞こえるが、Venture Debt として、増資期間の延長や希薄化防止のために、転換社債・新株予約権付融資として米国ではファンド・銀行によって広く実施されている。

3. バイオ企業の財務的特徴とコロナショック

2023 年 6 月に NBI を構成する 270 社の内、FY2020-22 に EDGAR データが有用な 253 社(原則として総計 2020 年 255 社、22 年 257 社、欠損データの場合は分析を除く)の時価総額を基準に降順での度数分布を作成する。その結果、図 1 のように、一般的な競争構造に似て上位の限られた企業群が成果の大半を占めるヘッド部分と、その他の多くの企業が残りの限られた成果を競うテール部分とをカバーする Pareto (パレート) 分布に収斂する。

バイオ企業の FY2020-22 における損益と R&D

費用との関係では、図2のように、先ず、純利益の増加だけでなく、純損失の増加にも伴い R&D 投資を拡大する傾向が確認され、たとえ「死の谷」に直面しても R&D を拡張するバイオ企業の起業家精神が観察できる。次に、FY2020 から FY2022 に移行するにつれて、純利益企業だけでなく純損失企業も損益の横軸に対する角度をそれぞれ低下させ、R&D 投資の低減傾向が見られる。これは、コロナワクチン開発企業を除き、コロナ禍による資本市場の低迷によるコロナショックの影響を反映していると考えられる。

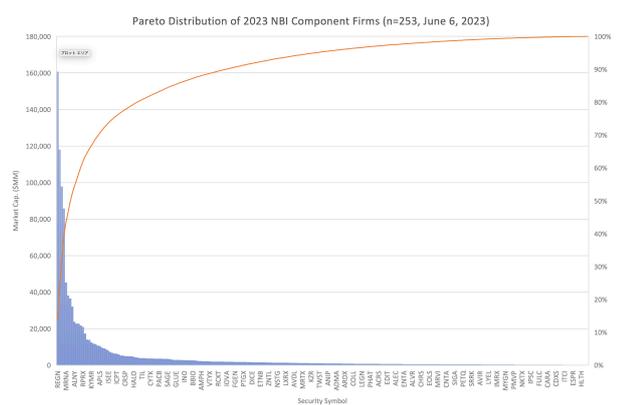


図1. 2023年6月NBI構成企業の時価総額パレート分布

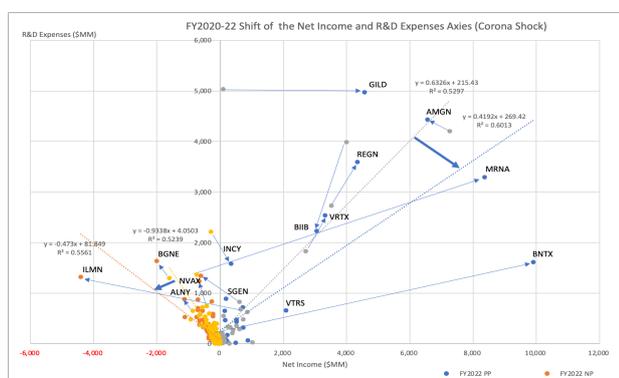


図2. FY2020-22の損益とR&D費との関係

4. 財務状態別のコロナショックへの対応

周知の常態的に純損失のバイオ企業は、損益・総株主資本 (TSE) 平面である図3のように、リーマンショックと同様に今回のコロナショックにおいても、債務超過企業を多数生み出している。図3では、コロナワクチンで貢献した2社 (BNTX・MRNA) とリーマンショック時に赤字であったが現在、時価総額での上位2社 (第3位 VRTX, 第4位 REGN) 以外は、FY2020-22の期間で全般的に両軸での採算の悪化が見られ、このグラフでもコロナショックによる影響が観察される。また、同期間に、2023年6月時点では時価総額9位の ALNY が債務超過企業に移転してい

る。

上記の座標軸で観察したように、当該期の財務状態は純利益(Positive Profit, PP: 2020年に37社, 22年に38社), 純損失・正総株主資本(Negative Profit-Positive Total Stockholders' Equity, NP-PT: 2020年182社, 22年200社), そして純損失・負総株主資本(Negative Profit-Negative Total Stockholders' Equity, NP-NT: deficit, 債務超過: 2020年36社, 22年19社)の3財務状態の企業に分類される。

図4では、2023年時価総額に対するFY2020・22の各年度R&D費によるR&D生産性を各財務状態別に比較すると、両年度間には、純利益(PP)企業は生産性を低下させ、純損失・正総株主資本(NP-PT)企業はR&D費を削減しながらも生産性を高め、そして純損失・負総株主資本(NP-NT)企業ではR&D費を拡大し且つ生産性を高めているように見える。

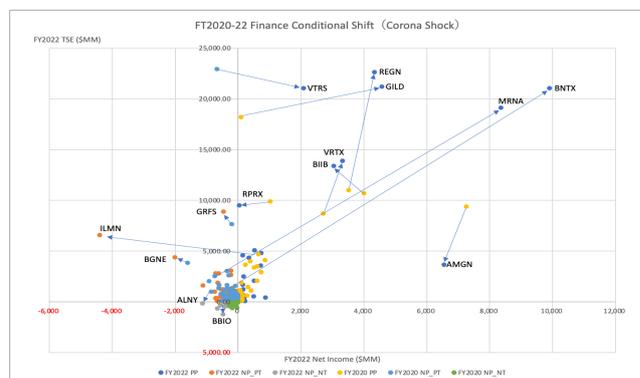


図3. FY2020-22の損益・総株主資本の平面による財務状態

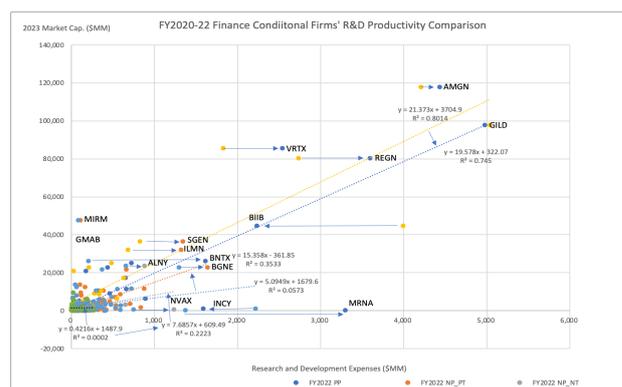


図4. R&D生産性の推移 (2023年時価総/FY2020-22R&D費)

次に、図5では、上記の3タイプの財務状態から純損失企業に限定して、総株主資本 (TSE) の正負を示す横軸に対するR&D費の比較をすると、FY2020-22の期間に、NP-PT企業は正の総株主資本 (TSE) を削減し且つR&D費を増加させ、他方のNP-NT企業では、負の総株主資本の絶対値 (債務超過金額) を拡大しても尚、R&D費を増

加させている。特に、この NP-NT 企業の起業家精神は資本市場の動揺期には格別、注目に値すると思われる。因みに、2023 年現在、時価総額 26 位の EXEL もリーマンショック時の FY2008 には債務超過(NP-NT)企業であった。

5. FY2020-22 の債務超過遷移企業別対応

5.1. 債務超過と遷移の状態

図 6 は FY2020-22 の期間に、債務超過 (NP-NT) 状態からの退出企業 32 社、新たな転入企業 15 社、そして滞留企業 4 社の損益・TSE 平面における各推移を示している。転入企業は、移動前は、一部の純利益企業を除けば多くが純損出企業でありながら、ALNY をはじめ純損失金額を増加させながら TSE を正から負の状態に変動させて、図 6 の平面では右から左にかけてほぼ垂直に比較的長い距離を下方移動している。転出企業は、数社が純利益企業に移動しているが、多くが純損出企業のまま比較的短い距離を垂直に上に向けて移動し TSE を正に好転させている。滞留企業は同じ象限内を全て斜め下方に向けて短い距離を移動し損益・TSE の両方を負に変動させている。

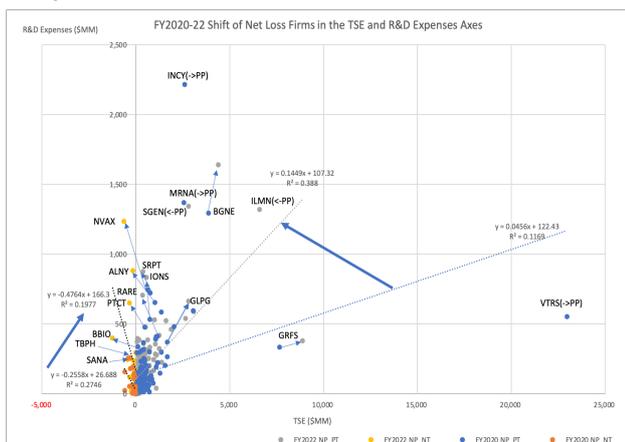


図 5. FY2020-22 純損失企業の R&D 費推移

同じ損益・TSE 平面上で、図 7 は FY2020-22 間での各企業の R&D 費の変化をバブルサイズで図示している。相対的に、転入企業の変化前の R&D 費の金額規模が大きく、多くの企業の R&D 費は転入後にさらに拡大している。他方、転出企業の変化前の R&D 費は転入企業に比較すると多くの場合、金額が小さく、加えて転出後にさらに金額を縮小させている企業が多数見られる。残留企業の場合、大きな変化は見られない。故に、転入企業は財務的な水準を多少悪化させても R&D 投資を重視したのに対して、転出企業は元々金額の相対的に小さかった R&D 費の水準をさらに多少縮小してでも、特に TSE の財務状態を負から

正に改善することの方を重視したと言える。

債務超過の中での R&D 費の投資を可能にし、且つ市場の影響を受けにくい存続のための当座の代表的な担保資産としては現金・現金等価資産 (CCE) がある。図 8 では、図 7 での R&D 費の代わりに CCE について FY2020-22 期間の変動を表示している。概略的には、転入企業では FY2020-22 期間中に一部を除いて CCE を拡大する事例が多く、転出企業では TSE 改善のため CCE を縮小する事例が多いように見える。滞留企業の中には CCE を拡大・縮小の両方の例が見られるが総件数が少ない。こうして、特に、転入企業には損益・TSE などの財務状況をたとえ悪化させても R&D 費を拡大する企業が多いが、促進できる背景には資本市場の影響を受けにくい CCE を担保とし、その金額を拡大する戦略が考えられる。他方、転出企業では、CCE の拡大・縮小の両ケースが見られるが、安全資産の CCE を拡大するよりも、R&D 費を縮小したり、損益・TSE などの財務状態の改善を優先したりする企業が多いように思われる。また、滞留企業には、総企業数も少なく共通する明確な特徴は見られない。

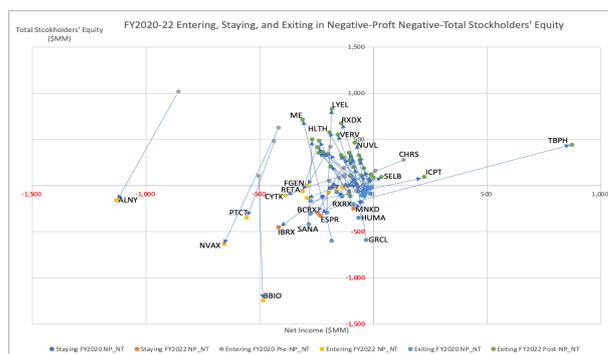


図 6. FY2020-22 債務超過への転入出移動の状況

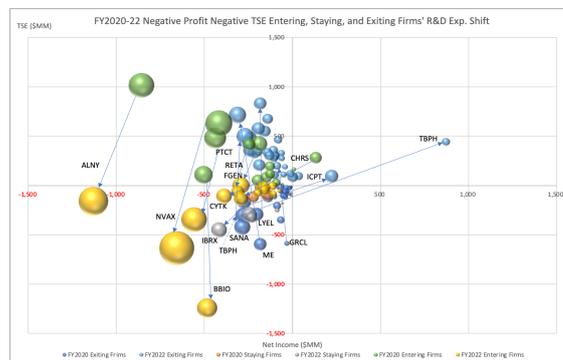


図 7. FY2020-22 債務超過状態移動企業の R&D 費変

5.2. ベイジアン McMC による一般化線形モデル解析

この箇所では、一般化線形モデルの中の以下のようなダミー変数を用いた正規線形モデルを応

用して、3遷移ケースについてベイジアンMcMC解析を実施する：

$$\mu_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \beta_3 x_{i3}$$

$$y_i \sim \text{Normal}(\mu_i, \sigma^2) \quad (8)$$

ここで、 y_i は確率変数としての従属変数、 $\text{Normal}(\cdot)$ は正規分布、 μ_i は期待値、 σ は標準偏差、 β_0 は切片、 x_{i1} は第1ダミー変数、 β_1 は同変数の係数、 x_{i2} は第2ダミー変数、 β_2 は同変数の係数、 x_{i3} は独立変数、 β_3 は同変数の係数、 i はデータの順位をそれぞれ示す。

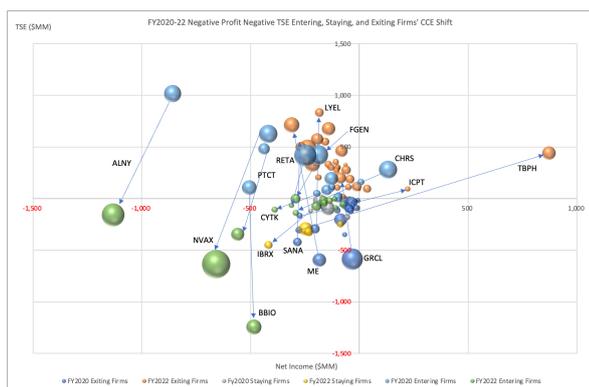


図 8. FY2020-22 債務超過状態移動企業の CCE 変化

5.2.1. R&D 生産性

R&D 生産性として従属変数には 2023 年時価総額、独立変数には転入企業の FY2022 R&D 費、第1ダミー変数には転出企業の同年度 R&D 費、第2ダミー変数には滞留企業の同年度 R&D 費をそれぞれ仮定した。

交互作用に関する表 1 の推定結果から、主効果として FY2022 R&D 費の \$1M の追加投資に対して 2023 年時価総額は \$7.96M 増加の効果があると推定される。FY2020-22 の期間の財務状態と FY2022 R&D 費との交互作用として、転出企業との間には \$0.80M の効果が、滞留企業との間には -\$9.84M の効果が予測される。図 9 からは、転出企業と転入企業との順位で僅差ではあるが転出企業上位の推定が見られ、さらに少し差をつけて滞留企業が続く様子が表示されている。しかし、3直線とも 95%信用区間内で確率分布が重なっており、明確には差を確認できない。こうして3財務形態間では R&D 生産性には大きな差はないと言える。

特に、転入企業にとって成果が出るまでには今後の長期時間を要すると思われる。

5.2.2. FY2020-22 間の R&D 費推移

R&D 費推移の推定モデルの従属変数は

FY2022 R&D 費、独立変数は転入企業の FY2020 R&D 費、第1ダミー変数には転出企業の同年度 R&D 費、第2ダミー変数には滞留企業の同年度 R&D 費を仮定した。

表 1. R&D 生産性の回帰モデルの交互作用推定結果

```

Family: gaussian
Links: mu = identity; sigma = identity
Formula: marketcap ~ finance * fy2022rdexp
Data: interaction_3 (Number of observations: 51)
Draws: 4 chains, each with iter = 2000; warmup = 1000; thin = 1;
total post-warmup draws = 4000

Population-Level Effects:
Estimate Est.Error l-95% CI u-95% CI Rhat Bulk_ESS
Intercept 478.18 1227.10 -1930.81 2864.91 1.00 3204
financeexiting 20.54 1712.43 -3426.78 3281.13 1.00 2830
financestaying 1843.69 3593.63 -4978.56 9194.19 1.00 3078
fy2022rdexp 7.96 2.68 2.87 13.29 1.00 3246
financeexiting:fy2022rdexp 0.80 9.81 -18.43 20.15 1.00 3198
financestaying:fy2022rdexp -9.84 18.39 -46.75 26.10 1.00 3233

Tail_ESS
Intercept 2789
financeexiting 2529
financestaying 2437
fy2022rdexp 2575
financeexiting:fy2022rdexp 2974
financestaying:fy2022rdexp 2476

Family Specific Parameters:
Estimate Est.Error l-95% CI u-95% CI Rhat Bulk_ESS Tail_ESS
sigma 3462.48 377.87 2821.81 4319.47 1.00 3042 2371

Draws were sampled using sampling(NUTS). For each parameter, Bulk_ESS
and Tail_ESS are effective sample size measures, and Rhat is the potential
scale reduction factor on split chains (at convergence, Rhat = 1).

```

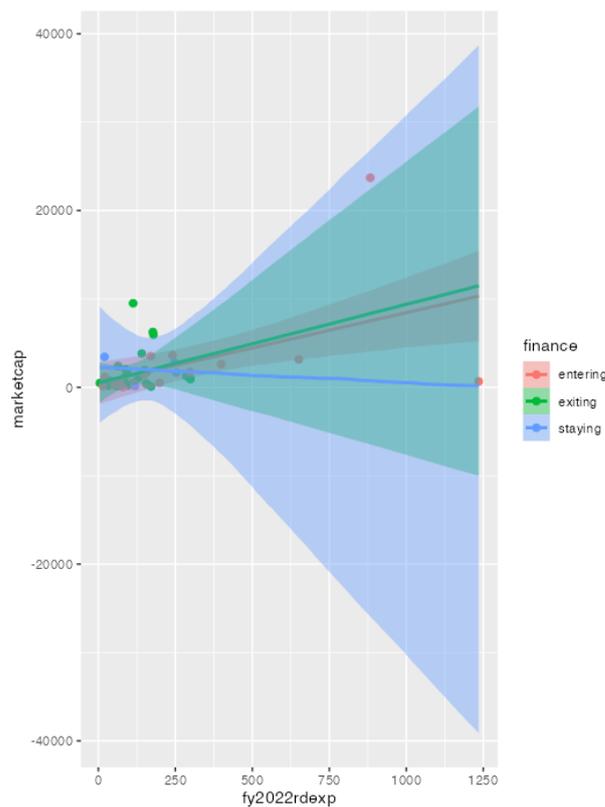


図 9. R&D 生産性の回帰直線

交互作用に関する表 2 の推定結果から、全体的に、主効果として FY2020 R&D 費 \$1M の増加に対して FY2022 R&D 費 \$ 1.52M の増加が予測される。FY2020 R&D 費と FY2020-22 の期間の財務状態との交互作用として、転出企業との間には -\$0.93M の効果が、滞留企業との間には-

\$ 0.21M の効果がそれぞれ予測される。その結果、図 10 から転入企業は転出企業との間に、信用区間 95%の範囲を超えた差を付けて大きな傾きを示している。また、滞留企業の 95%信用区間のカバー範囲が広くて確率分布が重なっているが、期待値レベルでは僅差で転入企業の方が滞留企業よりも大きな傾きを示している。

表 2. R&D 費推移の回帰モデルの交互作用推定結果

```

Family: gaussian
Links: mu = identity; sigma = identity
Formula: fy2022rde ~ finance * fy2020rde
Data: interaction_2 (Number of observations: 51)
Draws: 4 chains, each with iter = 2000; warmup = 1000; thin = 1;
total post-warmup draws = 4000

Population-Level Effects:
      Estimate Est. Error l-95% CI u-95% CI Rhat Bulk_ESS
Intercept      -40.09    25.16   -90.03    8.10 1.00   3351
financexiting    30.95    34.20   -36.31   97.83 1.00   2634
financestaying   63.47    74.89   -85.34  210.76 1.00   2567
fy2020rde        1.52     0.08     1.37    1.60 1.00   2949
financexiting:fy2020rde -0.93    0.19   -1.31   -0.54 1.00   2653
financestaying:fy2020rde -0.21    0.60   -1.42    0.97 1.00   2555

Tail_ESS
Intercept      3270
financexiting   2653
financestaying  2288
fy2020rde      2686
financexiting:fy2020rde 2462
financestaying:fy2020rde 2397

Family Specific Parameters:
      Estimate Est. Error l-95% CI u-95% CI Rhat Bulk_ESS Tail_ESS
sigma    67.06     7.43    54.54    83.19 1.00   3117   2668

Draws were sampled using sampling(NUTS). For each parameter, Bulk_ESS and Tail_ESS are effective sample size measures, and Rhat is the potential scale reduction factor on split chains (at convergence, Rhat = 1).

```

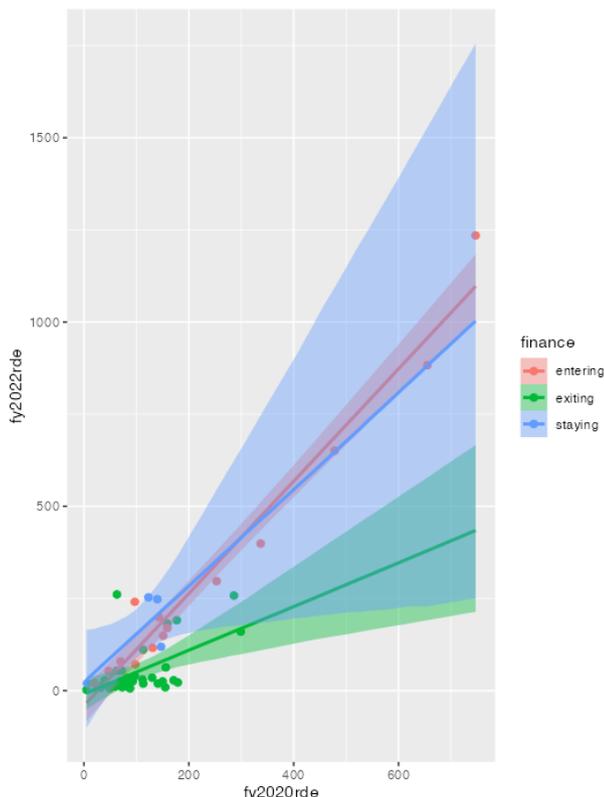


図 10. FY2020-22 間の R&D 推移の回帰直線

こうして、転入企業は、特に転出企業に比較して負の TSE への変化を恐れずに果敢に R&D 費を増加させていると言える。それに対して、転出企業は、たとえ R&D 費を削減してでも、財務状

態の改善を優先する傾向があると言える。

5. 2. 3. FY2022 R&D 費の CCE への依存度

資本市場が不安定で且つ財務状況が厳しい中で R&D 費の投入の担保要件として、ここでは CCE の役割に注目する。すなわち、R&D 費投入の担保としての CCE の機能を推定するモデルとして、FY2022 R&D 費を従属変数、転入企業の同年度 CCE を独立変数、第 1 ダミー変数には転出企業の同年度 CCE、第 2 ダミー変数には滞留企業の同年度 CCE を仮定した。

表 3 の交互作用に関する推定結果から、主効果として FY2022 において CCE \$1M の増加に対して R&D 費 \$ 0.91M の拡大が予測される。CCE との交互作用として、転出企業とは-\$0.74M、加えて滞留企業とは-\$0.22 の各効果が推測される。

表 3. FY2022R&D 費 CCE 依存回帰モデルの交互作用推定結果

```

Family: gaussian
Links: mu = identity; sigma = identity
Formula: rdexp ~ finance * cce
Data: interaction_2 (Number of observations: 53)
Draws: 4 chains, each with iter = 2000; warmup = 1000; thin = 1;
total post-warmup draws = 4000

Population-Level Effects:
      Estimate Est. Error l-95% CI u-95% CI Rhat Bulk_ESS Tail_ESS
Intercept      73.19    28.67    16.91   131.23 1.00   3473   3152
financexiting    5.83    37.63   -69.82   76.94 1.00   2814   2610
financestaying  -18.05    92.47  -199.22  165.68 1.00   2662   2452
cce              0.91     0.07     0.78    1.04 1.00   3005   2533
financexiting:cce -0.74    0.14   -1.00   -0.46 1.00   2838   2259
financestaying:cce -0.22    0.50   -1.20    0.80 1.00   2743   2667

Family Specific Parameters:
      Estimate Est. Error l-95% CI u-95% CI Rhat Bulk_ESS Tail_ESS
sigma    88.65     9.66    71.55   110.35 1.00   3044   3159

Draws were sampled using sampling(NUTS). For each parameter, Bulk_ESS and Tail_ESS are effective sample size measures, and Rhat is the potential scale reduction factor on split chains (at convergence, Rhat = 1).

```

また、図 11 の交互作用分析を踏まえた回帰直線の関係から、転入企業の傾きは転出企業に対して 95%信頼区間を超えた明確な差を付けて大きいと言える。他方、滞留企業の 95%信頼区間の範囲が広く、転入・転出企業の滞留企業に対する傾きの差の大きさは明確ではない。

これらの 3 分析の結果から、FY2020-22 期間に債務超過の状態からの転出企業と逆の転入（・滞留）企業との間では R&D 生産性に大きな差はない。しかし、特に転入企業は、損益・TSE の財務状態の悪化・低水準にこだわらずに他形態よりも果敢に R&D 費を増加させており、その投資の担保条件として CCE に依拠する傾向が強いと言える。

5. 2. 4. リアルオプション要素の確認

第 2 節での定式化及び図 12 から、原資産としての期末負債から行使価格としての R&D 費を差し引くと非負のオプションペイオフとしての CCE に近似する。故に、債務超過企業の R&D 投資には負債調達能力・企業ポテンシャルが要求される。また、短期的なキャッシュフローの裏付

け(担保)として、資本市場での頑強性の高い CCE の確保が R&D 投資に関わるコールオプションとしての排他的な権利の基盤になり得る。

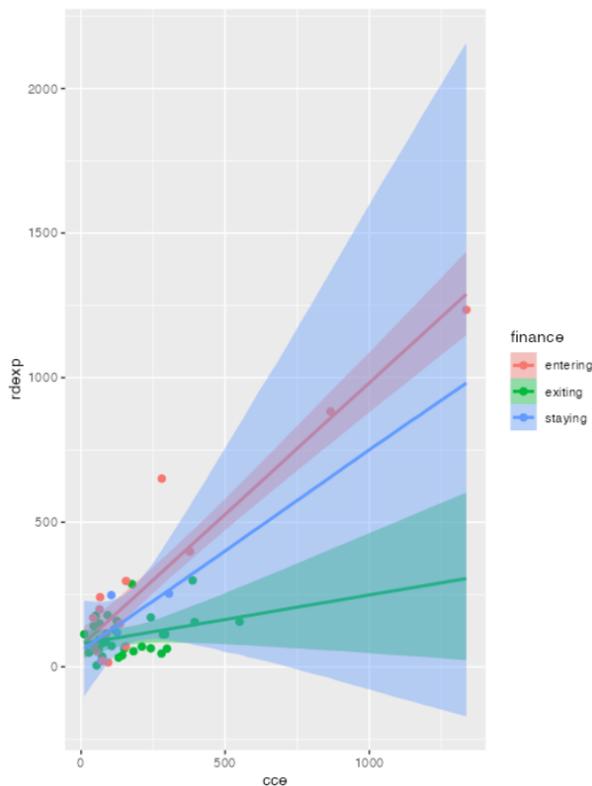


図 11. FY2022 での R&D 投資の CCE 依存性の回帰直線

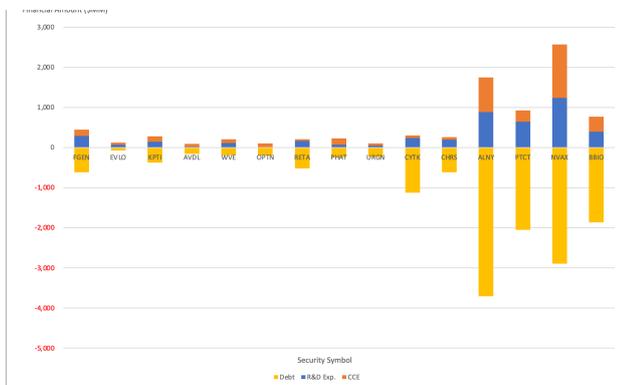


図 12. 転入企業のリアルオプション要素

但し、継続的な R&D 投資の決定には一定の負債金額の範囲内で、R&D 費と CCE とはトレードオフ関係にもなり得るので、ポートフォリオとして最適な割合の決定が求められる。

6. 結び

常態での純損失に対するバイオ企業の存続の基準としては、TSE を正に保つことが通説として提唱される。しかし、金融危機のような資本市場の混乱期では負の TSE としての債務超過企業の出現することがあり、今回のコロナショックでも多くの事例が生じた。

本研究では、先ず、第 1 の研究課題に関しては、財務状態の厳しい中での債務超過企業の起業家的な R&D 投資の一つの基準として資本市場の動揺に頑強性の高い CCE の担保機能の重要性が推定された。

また、第 2 の研究課題に関して、FY2020-22 の期間での負の TSE への転入企業群は転出企業群に比較して R&D 生産性には大きな変化はないが、後者が財務状態の改善を意識し R&D 費を抑制する傾向があるのに対して、前者はむしろ財務状態の悪化をもとめせずに CCE に依拠して果敢に R&D 投資を拡大している様子が推定された。但し、転入企業の起業家精神に基づく成果が出るには今後の時間を要すると思われる。

将来的には、ここで検討した債務を原資産、R&D 投資を行使価格、そして CCE をリアルオプションとする資本市場のリーマン・コロナショックのような極限的状况での債務超過バイオ企業の R&D 投資の理論洗練化の展望の可能性と、ファイナンスだけでなく技術的視点との統合の必要性を感じる。

但し、前述のように国内では債務超企業の上場廃止猶予期間は 1 年であり、バイオスタートアップのようなディープテックスタートアップの R&D 投資の継続には米国に比較して R&D 継続に対する猶予期間が短すぎ事業運営の障壁が高いと言える。

また、債務超過企業への Venture Debt による融資は技術的ポテンシャルによる資金調達能力を示す尺度とも考えられるが、リスクと資本コストとのバランスに関する CAPM の観点からは依然として解明の余地が残ることも事実であり、実務的現実とはともかく、今後、さらなる理論的分析を要する課題の一つと思われる。

参考文献

- [1] J.G. March, "Exploration and exploitation in organizational learning," *Organ. Sci.*, vol. 2, no.1, pp. 71-87, 1991.
- [2] D.J. Teece, "Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance," *Strateg. Manag. J.*, vol. 28, no.13, pp. 1319-1350, 2007.
- [3] W.R. Kerr, R. Nanda, M. Rhodes-Kropf, "Entrepreneurship as experimentation," *J. Econ. Perspect.*, vol. 28, no. 3, pp. 25-48, 2014.
- [4] V.J. Ehlers, *Unlocking Our Future: Toward a New National Science Policy*. Washington, DC, USA: U.S. House of Representatives, Committee on Science, 1998.
- [5] L. E. Branscomb, P. E. Auerswald, *Taking Technical Risks: How Innovators, Managers, and Investors Manage Risk in High-Tech Innovations*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2001.
- [6] S.C. Myers, "Determinants of corporate borrowing," *J. finance. Econ.* vol.5, issue 2, pp.147-175, 1977.
- [7] J.K. Smith, R.L. Smith, *Entrepreneurial Finance: Venture Capital, Deal Structure & Valuation*, 2nded. Stanford, CA, USA: Stanford Business Books, 2019.