

開発競争と製品の安全性

西原鷹一 *

2017年6月1日

概要

企業は欠陥を見つけるため、開発中は安全性を試験し、製品の販売後も消費者の情報を収集している。この研究では、特許競争の中で情報収集が企業行動にいかなる影響を及ぼすかを検討する。社会的には事前的な注意が不足しながらも、過剰に発明が行われるかもしれない。また、安全性を高める上で、必ずしも懲罰的賠償が有効に機能するとは限らない。

キーワード：製造物責任，研究開発，独占，懲罰的賠償

1 序論

自動運転車を利用した高速道路における最初の死亡例が発生したのは2016年春のことである。tesla・モデルSはトラクタートレーラーを検知することができず、その下に潜りこんでしまった。半年間にわたる調査が行われた末、米国道路交通安全局は本件で自動車の欠陥は認められないと結論付けた。それどころか、「teslaの自動運転車は自動操縦を導入することで衝突率をおよそ40%減じている」と報告している。^{*1}teslaは、事故後も事故以前と同様に、安全運転へ向けて不断にシステムの改善に取り組んでいる。

製品の研究開発において、情報技術のおかげで企業は衝突する様子をシミュレーションし、素材の破損を予想し、新製品を仮想的に作成することが可能になった。また、消費者の使用状況や製品の不具合を確認するのも用いられている。近年の情報技術の洗練は目覚しく、自動運転車から診療にいたるまで、社会の様々な場面へ技術が応用されつつある。1997年、IBMのスーパーコンピュータであるディープブルーがチェスの王者であるカスパロフを打ち破ったが、2011年にはIBMワトソンが米国のクイズ番組で2人のチャンピオンを押しよせ、自然言語処理能力の高さを見せ付けた。2017年、グーグル・ディープマインドによるアルファ碁は深層学習と

* 広島大学地域経済システム研究センター nishihara@hiroshima-u.ac.jp

^{*1} NHTSA Investigation: PE 16-007 (Jan. 2017) による。

強化学習によって囲碁のトップ棋士である柯潔に連勝し、開発者たちは囲碁から実用面へその技術を応用しようとしているところである。これらの技術に基づいた事故を減じる発明が現われることは最早疑いようがない。

それにも関わらず、人工知能の専門家たちはこれらの技術のリスクについて警鐘を鳴らしている。^{*2}例えば、専門家たちでさえ、機械の意思決定の意味を理解しがたいことがある。もし専門家の知識でも足りないというのなら、機械を信頼する一般の消費者が深刻なリスクを予想するのは困難であるに違いない。機械の意思決定が災厄を招かないとは何人たれとて断言できぬであろう。

社会科学は技術のリスクに対し、何か処方箋を提供できるであろうか。私たちは、イノベーションから消費に至るまでのあらゆる場面で企業が情報を活用し、安全性を高めるよう促すべきである。それゆえ、本研究では、異なる段階で注意が必要となる環境を表現したモデルを構築したい。

異なる段階で注意が必要になるという本稿の設定は、他のいくつかの産業でも当てはまるかもしれない。医薬品産業では製薬会社が開発に並行して臨床試験を行い、販売後も副作用の恐れに備える。ソフトウェア企業はリリース前にプログラムをチェックすることは勿論、適宜バグを修正してユーザーをサポートする。家電メーカーは安全性試験を通過しなければならないが、販売後の発火等に関する消費者の報告にも注意深く対応する。

しかし、分析の見通しをよくするため、議論を一定の範囲に絞ることも必要であろう。警告や修繕に関する義務やそれらに対する過失責任、また、販売者等の流通に関わった企業に関する側面も製造物責任の発展の中で大きな意味を持っているが、本稿では製造業者のイノベーションにおける安全性向上に集中する。

本研究では、特許競争と製造販売の2つの段階において安全性を向上させる企業努力を議論する。市場の独占に鍵となる特許取得をめぐる企業が競争し、その後、勝者が製造販売を行う設定である。製品の開発中、企業は安全性試験も併行する。製造販売の段階でも引き続き、特許された企業は事故の予防に注力する。

モデルにはいくつかの特徴がある。第1に、開発段階において、特許と安全性の間で企業にはトレードオフがあること。第2に、特許競争には複数の企業が参加していること。第3に、製造販売の段階において、売価が事故のリスクによって影響されうること。最後に、懲罰的賠償を可能とするモデルとなっていることである。

以上の設定の下で、企業が特許競争において発明を熱心に行い、安全性を犠牲にするという可能性があることを示す（命題4）。消費者を考慮する社会の方が製品市場を企業より高く評価するのに対し、企業は私的なインセンティブが独占権に由来するせいで特許競争に目が行きがちである。結果、事故によるリスクを低減させる上で特許取得事前・事後の安全性への投資が補完的であったとすれば、両方の段階で安全性が社会的に望ましい水準より低くなってしまう。

企業行動を矯正するのに、政策的な手段が上手く機能するかどうかは必ずしも明

^{*2} Russell et al. (2015) を元に、「頑健で便益ある人工知能研究への優先事項」と題された公開状にホーキング博士を含む多くの専門家が署名している。

らかではない。実際、その効能が特許取得の容易さに依存していることが示される（命題6）。産業が高度化していない、すなわち、発明に費用を投じても特許取得の可能性がさほど減速しないのであれば、競争相手の開発努力を引き出しすぎない状況において企業は安全性を高める。他社の開発努力を引き出しにくいと見なせるのは、利子率が低く開発に時間を掛けることができる場合や、参入者が少ない場合である。しかし、産業が高度であり、開発投資を増強しても市場を独占する鍵となる特許をそう易々と取得できるわけではないのなら、上の現象は反転してしまう。すなわち、競争環境が厳しくなることによって発明が刺激され、それと並行して安全性にも投資が振り向けられる。懲罰的賠償は利子率や参入と比べると若干複雑な作用が働いているが、その使用が社会的に望ましくない場合が存在することには注意が必要である（命題8）。

製造物責任の機能や構成を理論的に解明しようと試みた文献は、その非効率性が生じる根源を探求してきた。Polinsky and Shavell (2010) は伝統的に考察されてきた規制、リスクのシグナリング、保険等の要素が製造物責任に与える影響について整理し、製造物責任法が現在狙い通りに機能していないようであると結論付けている。非効率性を取り除くためには、これらの要素をもっと考慮すべきであると Polinsky and Shavell (2010) は提案しているが、事前的な視点として彼らが議論を与えているのは主に規制についてであった。しかしながら、製造物責任は新規に市場に導入される財と密接な関係があるため、事故より早い段階を考えるのであれば研究開発におけるインセンティブの歪みにも目を向けるべきであろう。それにも関わらず、段階的に行う注意というのは彼らの議論の中心からは外れてしまっていた。

独占下での逐次的な注意は、事前的な安全性への投資と事後的な消費者の安全確保というモデルにより Spier (2011) と Chen and Hua (2012) が考察している。Spier (2011) は販売後の欠陥製品における警告義務により、いかにして消費者の余剰に関心のない独占者が製品を買い戻すインセンティブを回復するかを示した上で、警告義務が投資段階での注意と代替的になってしまう点を指摘している。類似の代替性により、リコールのような手段で事後的に対応することを想定しても、企業が常には完全な責任を負わない方が安全性の観点でバランスのとれた結果を導くケースがあることを Chen and Hua (2012) は明らかにしている。彼女らの論文は、義務を怠った場合に発生する過失責任が抑止または救済によって消費者の購買意欲を高める反面、事前的な投資と代替的に働くことを明らかにした点で重要である。しかしながら、著者らは独占での逐次的な注意に光を当ててはいるものの、独占力を形成するための開発競争を捨象した。このため、投資する段階では、企業は特許でなく安全性に資源を振り向けることができるのを暗黙に仮定していたと言える。

Parchomovsky and Stein (2008) と Dari-Mattiacci and Franzoni (2014) はイノベーションのインセンティブを不法行為法が歪める原理について説明した。Parchomovsky and Stein (2008) は慣習への固執、すなわち、不法行為法を適用する際により安全な新技術があったとしても旧技術を利用しなかったことが過失とされてしまう問題に取り組んでいる。この文脈において Dari-Mattiacci and Franzoni (2014) は、企業が新旧の技術を選択する場合に過失責任ルール及び、合理的な注意

の水準がどのように設計されるべきであるか探求した。彼らの研究はより優れた技術を市場が適切に選択する過失責任の在り方を明確にしている。他方で、所与の技術に対しルールを設計する視点とは反対の問題、すなわち、ルールの下での発明のインセンティブについて著者らはほとんど検討していない。彼らの議論の主要な部分では、投資は外生的なものとされていたのである。

Endres and Bertram (2006) は事後的に注意費用を減少させることができる投資について考えた。彼らの研究は Jacob (2015) により、注意と損害の両方に作用するイノベーションへと展開されている。彼らの研究はいずれも、開発費の実態を把握することが困難な裁判所が相当の注意について判断する場合には過失責任が上手く機能せず、発明の効果を企業に内部化させる厳格責任の方が優れることを明らかにしている。しかしながら、彼らは開発競争を考えたわけではないため、市場での相互作用が排除されていた。また、彼らの言うイノベーションは注意費用を削減するものに限られている。

Baumann and Heine (2013) は製品イノベーションに関する特許競争を考察した。特許されれば、企業は欠陥があるかもしれない製品を厳格責任の下で独占的に供給することができるが、そこには早期の製品導入と安全性の間のトレードオフがある。Baumann and Heine (2013) は特許競争の焦りを鎮めるために、期待利潤を低める懲罰的賠償が効果的なツールとなることを明らかにした。しかしながら、著者らは開発途上から安全性を向上させる類の企業行動について分析を残している。後に明らかにするように、この点をモデルに含めると、懲罰的賠償が適切に機能しない場合も生じてしまう。

本稿の残りは以下のように構成される。2 節でモデルを構築する。3 節で企業行動を記述する。4 節で社会最適と比較する。5 節で比較静学を行う。最後に、6 節で結論を述べる。

2 モデル

2 段階の手続きによる簡潔なモデルを構築する。はじめに、企業が特許競争を行う。次に、特許された企業は市場の独占者となる。製品には欠陥による賠償リスクがあるが、適当な手段を講じることで事故はある程度抑制される。

2.1 特許競争と事前安全性

対称な n 社の特許競争を考える。発明が特許される確率はポアソン分布に従うものとする。ある企業が特許を得るまで、企業 i は一定の発明費用 $z_i \in \mathbb{R}_+$ を任意の瞬間で投じる。^{*3}

この投資が徐々に効率的でなくなる様を表すため、ハザードレート h は z_i につい

^{*3} この部分は Loury (1979) と同様の設定である。

て単調増加するが狭義に凹な関数であるとしよう。^{*4}記法の単純のため、 $h_i = h(z_i)$ と約束しておく。

発明と同時に、各時点で企業は安全性試験を行う。安全性試験の費用は各時点で一定とし、 $s_i \in \mathbb{R}_+$ で表す。製造販売段階での安全性への投資と区別するため、事前安全性の投資水準であると呼ぶ。

事前安全性は企業 i が特許を取得した場合の利潤 π_i に影響を及ぼす。利率 $r \in \mathbb{R}_{++}$ を一定であるとする、特許競争に参加する企業 i の現在価値は

$$\begin{aligned} V(z_i, s_i) &= \int_0^{\infty} e^{-(r+\sum_j h_j)t} (h_i \pi_i - z_i - s_i) dt \\ &= \frac{h_i \pi_i - z_i - s_i}{r + \sum_j h_j} \end{aligned}$$

で表される。

2.2 製造販売と事後安全性

特許を取得した企業 i は、特許発明を用いた製品の生産量 $q_i \in \mathbb{R}_+$ を決定する。市場での価格は $p \in \mathbb{R}_+$ で表す。

欠陥は事故の元となる。期待損害 D とおき、特許された企業の負担する賠償を $\gamma_f D$ で表す。ただし、 $\gamma_f \in \mathbb{R}_+$ である。例えば、特許された企業が被害者の一切の損害を填補し、損害に残余が生じないのであれば、 $\gamma_f = 1$ である。このため、 $\gamma_f \geq 1$ であれば、懲罰的賠償が表現されることになる。^{*5}

事故の予防を目的として、特許された企業は消費者の使用状況を観測し、調査し、または対応する等のために製品 1 単位につき注意費用 $c_i \in \mathbb{R}_+$ を投資する。これを事後安全性の水準と呼ぶ。

特許された企業の利潤 π_i は

$$\pi(q_i, c_i; s_i) = (p - c_i - \gamma_f D)q_i$$

によって定まると仮定する。

2.3 消費

市場では代表的消費者が価格 p で q 単位の製品を購入するが、製品には欠陥があるかもしれない。事故で損害を負った場合、必ずしも完全に補償されるわけではないと消費者は考えている。消費者の考える残余損害の比率を $\gamma_c \in \mathbb{R}$ で表す。この比率は懲罰的賠償に対して負となることができる。通常は $\gamma_c \in [0, 1]$ である。

^{*4} h は非負かつ滑らかであるとする。

^{*5} γ_f を外生的に扱っているが、その水準は政策的に決められるかもしれない。寡占の文脈であるものの、Daughety and Reinganum (1997) は価格と安全性が適切に紐ついた分離均衡を得るために、こういった比率が最低水準を持たねばならないことを述べている。

製品を購入・消費することによって、消費者は

$$u(q) = aq - \frac{1}{2}bq^2 - pq - \gamma_c Dq$$

という効用を得る。^{*6}第1項と第2項は、消費とともに効用が飽和へ向かう様子を表す。第3項は購入する財への支払いである。最後の項は製品事故が起こってしまった際に、賠償後残余するであろうと消費者が考えている損害の大きさを表している。

2.4 損害

損害は

$$D(s_i, c_i)$$

と表す。損害関数に影響を与えているのは、事前・事後安全性の2変数である。^{*7}万一事故が生じた場合、企業は厳格責任を負うものと仮定する。^{*8}

安全性への投資は事故の規模または発生確率を低減させるので、損害関数は狭義に単調減少する。また、狭義凸関数であるとする。^{*9}この仮定により、安全性への投資のコストパフォーマンスが徐々に悪くなっていくことが表現される。^{*10}

3 均衡

3.1 第2段階

分析に取り掛かる前に、 $\gamma \equiv \gamma_f + \gamma_c \in [1, \infty)$ と定義しておく。^{*11} $\gamma = 1$ では、賠償が賠償義務者から被害者への所得移転として企業・消費者間で整合的に知覚されている状況が表される。 $\gamma_f > 1$ のときも、消費者が合理的であればこれは変わらない。しかしながら、しばしば企業の悪性を消費者が認識できず、または、消費者が財の危険性を軽く見積もるように、企業と消費者の間で知覚されるリスクに差が存在

^{*6} ただし、 a と b は正のパラメータであり、 a は十分に大きいと仮定する。

^{*7} 関連して、Ben-Shahar (1998)は販売時点とその後の技術進歩を考え、製品設計について技術水準の抗弁に関する議論を行っている。

^{*8} 単純のため本研究では過失で争わないものとし、また、立証可能性や無資力の問題をモデルから除外しておく。

^{*9} さらに、内点解を保証するため、 D は滑らかで有界、 $\lim_{s_i \rightarrow 0} \frac{\partial D}{\partial s_i} = \lim_{c_i \rightarrow 0} \frac{\partial D}{\partial c_i} = -\infty$ であると仮定する。

^{*10} 関連して、Viscusi and Moore (1993)は売上高に対する賠償責任の大きさが研究開発費を低めることを明らかにしている。

^{*11} ここで課した制約により γ_c が自由でなくなるので、消費者だけが企業の懲罰的賠償を無尽蔵に期待するような不適切な状況が排除される。より緩やかな条件 $\gamma \in \mathbb{R}_{++}$ でも以下の計算は成立する。

することがある。^{*12}この場合、 γ は 1 と異なる値をとる。^{*13} $\gamma > 1$ であると懲罰的な賠償が認められるケースを暗示するので、 γ を懲罰率と呼ぶことにする。^{*14}

それでは、後ろ向きにゲームを解いて対称解を探したい。最適な消費から逆需要関数は $p = a - bq - \gamma_c D$ となる。利潤関数を整理すると、

$$\pi_i = (a - bq_i - c_i - \gamma D)q_i$$

である。

c_i に関する一階条件は

$$\frac{\partial D}{\partial c_i} = -\frac{1}{\gamma} \quad (1)$$

である。式から特定される事後安全性を $c^*(s_i)$ と書く。懲罰率が高いほど、事後安全性は高まることが分かる。

事後安全性と事前安全性の関係は前の式から得られる。実際、

$$\frac{dc^*}{ds_i} = -\frac{\partial^2 D / \partial s_i \partial c_i}{\partial^2 D / \partial c_i^2}$$

であり、この分母は D の形状から正なので、分子の交差偏微分に依存して符号が定まる。

命題 1. 損害関数の交差偏微分が負（正）であるなら、事前・事後安全性は補完的（代替的）である。

特に、損害関数が 2 段階それぞれの損害関数 ($D_1(s_i), D_2(c_i)$) の積として表される場合、 $\partial^2 D / \partial s_i \partial c_i = D'_1 D'_2 > 0$ となるので、交差偏微分は正である。

系 2. 損害関数が積として 2 つの損害関数へ分解されるなら、事前・事後安全性は代替的である。

この系は、積として表現される損害では事前安全性が事後安全性を相殺する性質を持っていることを意味している。したがって、もし企業が補完的に逐次の安全性を高めるべきだと考えるのであれば、各段階を独立したものとして損害の評価を行うのは適切でないという教訓が得られる。

次に q_i に関する一階条件を変形すると、

$$q_i = \frac{1}{2b}(a - c_i - \gamma D) \quad (2)$$

^{*12} 消費者はリスクを正しく評価できないかもしれない。Spence (1977), Daughety and Reinganum (1995), Oi (1973) は消費者がリスクを誤認した状況を検討している。この文脈における本研究のセットアップは Polinsky and Rogerson (1983) と近いが、Polinsky and Rogerson (1983) の主たる関心は厳格責任と過失責任のルール間の比較であった。

^{*13} その他にも、消費者に何らかの取引費用が存在している場合も $\gamma \neq 1$ となるかもしれない。例えば、 D がリコールまで織り込んでいると解釈できる状況では、消費者の不効用や企業の回収費等が発生しうる。

^{*14} 以下、消費者のリスク認知の誤りについては特に断ることなく、 $\gamma > 1$ を懲罰的賠償の認められる環境であると考える。

を得る。先の $c^*(s_i)$ から、最適な $q^*(s_i)$ が定まる。

仮に発生しうる事故が大したものでないのならば、(つまり、 $c_i + D$ を無視できるのであれば、) q^* は通常の独占産出量に一致する。損害賠償の可能性は生産を減少させ、懲罰率が高くなれば、その効果は一層強くなる。事実、 $c_i + \gamma D$ は c_i について凸であり、最小値は γ にしたがって増加する。特許された企業は $\pi_i = bq^{*2}$ 得るが、この利潤は懲罰率にともなって減少することになる。反対に、 s_i が増加するとき、等しい事後安全性を選ぶことで q^* が増加することが分かる。均衡では生産量の増加に伴い利潤も増加するので、事前安全性の増加によって生産量や利潤が減少することはない。

補題 3. 事前安全性を所与とする。高い懲罰率は事後安全性を高め、生産量を減少させ、利潤を小さくする。事前安全性が高められた場合、生産量と利潤が増大する。

以後、記号 π を乱用することになるが、誤解は生じないと思うので、 $\pi(q^*(s_i), c^*(s_i))$ における利潤を s_i についての関数とみなすことがある。

3.2 第1段階

それでは特許競争を考えよう。最適解は z^* と s^* で表すことにする。

V の s_i に関する一階条件から

$$h_i \pi'_i = 1 \quad (3)$$

である。^{*15}このような式は注意-活動のモデルでしばしば現れ、注意の限界便益と限界費用が釣り合うように注意水準が選ばれることを意味している。

二階条件では $\pi''_i < 0$ を満足せねばならないので、 s_i が大きくなるにつれ π'_i は小さくなるはずである。等式を保つには、 z_i が大きくならねばならない。したがって、この式から、第1段階でのパラメータの変化については s_i と z_i の変化方向が一致していることが窺える。^{*16}他方、懲罰率は第2段階でのパラメータであり、 π' の内部にある。この違いから、後に比較静学の結果が命題6・7に分かれる。

z_i の一階条件は

$$h'_i \pi_i = 1 + h'_i V \quad (4)$$

となる。この式は活動の限界便益と限界費用をバランスさせている。注意-活動のモデルでしばしば見かける $h'_i \pi_i = 1$ という形と異なり、発明の遅れがもたらす企業の限界損失を表す項 $h'_i V$ が追加されている。

4 社会最適との比較

前節の企業行動を社会的に望ましい水準と比較する。

^{*15} 二階条件の満足のため、 $h''_i \pi''_i > (h'_i \pi'_i)^2$ を仮定する。この不等式は $\pi''_i < 0$ も含んでいる。

^{*16} そうであるからといって、比較静学が明らかであるとは限らない (Nussim and Tabbach, 2009)。

第 2 段階では、社会計画者は総余剰

$$w(q, c) = u(q) + \pi(q, c) = (a - \frac{1}{2}bq - c - \gamma D)q$$

を最大化する.

c に関する偏微分は

$$\frac{\partial D}{\partial c} = -\frac{1}{\gamma}$$

となり、事前安全性を所与とすれば式 (1) に等しい. また、 q については

$$q = \frac{1}{b}(a - c - \gamma D)$$

となる. 直前の結果と合わせて考えると、所与の s について、この生産量は $2q^*$ に等しいことが式 (2) から分かる. このため、 $w(2q^*, c^*) = 2\pi(q^*, c^*)$ となる. 特許された企業は消費者の便益には関心を持たないので、その分だけ社会と企業がそれぞれ最適だと考える生産量に開きが出る.

第 1 段階で企業を対称に扱うことを前提とすれば、社会計画者の評価関数は

$$\begin{aligned} W(z, s) &= \int_0^\infty e^{-(r+nh)t} n(hw(2q^*, c^*) - z - s) dt \\ &= \frac{n(2h\pi(q^*, c^*) - z - s)}{r + nh} \end{aligned}$$

となる.

s に関しては、式 (3) から

$$\frac{\partial W}{\partial s}(z^*, s^*) = \frac{n}{r + nh}(2h\pi' - 1) > 0$$

が言える. したがって、企業の選択する事前安全性は不足している.

z に関して、式 (4) から

$$\text{sgn} \frac{\partial W}{\partial z}(z^*, s^*) = \text{sgn} \frac{r\pi}{r + nh} - (n - 1)V$$

が言える. 第 1 項はいつか取得できるかもしれない特許の価値を表しているが、第 2 項はそれが他の $(n - 1)$ 社に奪われる結果に終わるかもしれないことを暗示している. どちらが大きいかを予め決めることはできない.

命題 4. 事前安全性は社会的に過小である. 発明は社会的に過剰となることがある.

得られた第 1 段階の結果を第 2 段階と合わせて考察しよう. 企業は事前安全性を軽視しているので、そうでない場合と比較すると損害 D は大きくなる. したがって、予防と損害を評価した値 $c_i + \gamma D$ が大きな水準となる. このため、企業の選択する生産量 q_i は社会的に見て小さい. また、事後安全性の水準は補完性に依じて決まるのであった.

系 5. 事故と予防のコストは総合的に評価して社会的に大きすぎ、生産量は社会的に過少になる. 特に、損害関数の交差偏微分が負の場合、事前・事後ともに安全性が不足している.

5 比較静学

前節までで企業と社会計画者の意思決定がどのように異なるかという問題を考えた。本節から、企業行動の矯正の問題へと関心を移す。利子率、参入企業数、懲罰率という3つの政策手段について検討したい。この節では比較静学を行い、次節で政策手段を組み合わせる状況を検討する。

r と n に関する比較静学は式 (3)・(4) を元に得ることができる。計算を簡単にするため、式 (4) を直接用いる代わりに、対称性を前提としたときにそれと同値になる

$$F \equiv (h'_i \pi_i - 1)(r + nh_i) - (h_i \pi_i - z_i - s_i)h'_i = 0$$

を用いることにしよう。以下、添え字を省略する。

均衡では $h'\pi - 1 > 0$ でなくてはならないから、 F_r と F_n はいずれも正である。したがって、いま取り組んでいる比較静学の結果は $F_z dz + F_s ds + F_\gamma d\gamma$ の符号に依存する。

他方の式 (3) の全微分から、 $h'\pi' dz + h\pi'' ds + h \frac{d\pi'}{d\gamma} d\gamma = 0$ である。前述の通り、 z と s は懲罰率が一定 ($d\gamma = 0$) であれば同じ方向に変化する。したがって、求める符号は

$$F_z - \frac{h'\pi'}{h\pi''} F_s = \underbrace{(n-1)(h'\pi-1)h'}_{>0} + \underbrace{(h'\pi-1)(r+nh)}_{>0} + \left(\underbrace{h''\pi}_{<0} - \underbrace{\frac{(h'\pi')^2}{h\pi''}}_{>0} \right) \underbrace{(r+nh)}_{>0} \quad (5)$$

の符号に従う。(導出は補論。) 第1・2項が正であるのに対し、第3項は負の値を含む。ゆえに、符号は定まらない。符号を枝分かれさせているものは h'' の絶対値の大きさである。 h は企業が特許されるための関数であったので、 h'' は特許の取得困難さと関係している。もし $h'' \approx 0$ であれば、 h はほぼ線形となり、前述の式は正となる。この結果、 r と n が大きくなるほど、企業は投資するインセンティブを失う。反対に、 h の凹性が強ければ、負となる。

z が研究者の給与であるとするなら、 h'' の値がゼロに近いときには、研究者の数を増やすことで開発効率が比例的に良くなる。このような産業では研究者の替えが利きやすいであろう。^{*17} 逆に h が減衰しやすいと、取り組むべき問題に対して優れた効率で研究開発を行うことのできる研究者を見つけるのが困難な産業である。言い換えると、研究者には高度な専門的スキルが求められており、替えが利きにくい。このため、 h'' が十分に大きいときに産業が高度であると呼び、そうでない場合には高度でないと呼ぶ。

^{*17} 開発投資を増やすことで開発効率が直ちに良くなるといえるかどうかという考え方は、特許法における非自明性(同業者が容易に発明を思いつくかどうかという性質)を連想させる。

命題 6. 産業が高度でないとする。このとき、(i) 利子率が小さくなるか、または、(ii) 参入が減ることによって、企業は開発と事前安全性の両方に力を入れるようになる。反対に、高度産業ではそれぞれの増加によって開発と事前安全性に力を入れるようになる。

γ の比較静学は若干複雑だが、手順はほとんど同じである。^{*18} $\frac{d\pi'}{d\gamma} = D_s q_0$ の証明は補論にまわすことにして、 $dz/d\gamma$ の符号を明らかにしよう。ここで、 $q_0 \equiv \frac{a-c^*}{2b} (> q^*)$ とは、市場で損害が生じないにも関わらず、元の注意を払っていたとするときの仮説的な生産量である。下式において、符号の一定であった F_γ や F_n を置き換えると、

$$\text{sgn } F_\gamma + \frac{h \frac{d\pi'}{d\gamma}}{h\pi''} F_s \left(\iff \text{sgn } \frac{d\pi}{d\gamma} + \frac{D_s q_0}{\pi''} \pi' \cdot \frac{r + nh}{r + (n-1)h} \right) \quad (6)$$

である。包絡線定理より $\frac{d\pi}{d\gamma} = -Dq$ であることを用いると、この符号は

$$\eta(s) \equiv \frac{D_s/D}{\pi''/\pi'} \geq \frac{q_0}{q} \cdot \frac{r + nh}{r + (n-1)h} \quad (7)$$

によって定まることが言える。

η は事前安全性が改善するときに利潤の変化速度 1% の変化に対して期待損害額が何% 変化するかを評価した弾力性である。事前安全性による利潤の減速より損害の減少の方が比較的大きいのであれば、 η はより大きな値をとる。もし式 (7) で弾力性 η が右辺より大きければ、式 (6) は正の値をとる。このとき、式 (5) が正なら、高い懲罰率は開発を沈静化する。

$ds/d\gamma$ について、

$$F_\gamma + \frac{h \frac{d\pi'}{d\gamma}}{h'\pi'} F_z = F_\gamma + \frac{D_s q_0}{\pi''} F_s \cdot \frac{F_z}{\frac{h'\pi'}{h\pi''} F_s}.$$

の符号は

$$\eta \geq \frac{q_0}{q} \cdot \frac{r + nh}{r + (n-1)h} \cdot \frac{F_z}{\frac{h'\pi'}{h\pi''} F_s}$$

と反対向きになる。

この不等式は式 (7) とよく似ているが、式 (5) の影響も受けている。例えば、式 (5) が正なら、前式の右辺は式 (7) の右辺よりも大きくなる。同様に、 η は 2 つの閾値の中間の値をとることや、両方の右辺より小さな値となることもある。^{*19} こうして

^{*18} Baumann and Heine (2013) の結果と異なり、 s が考慮された結果、懲罰的賠償は有効でなくなるかもしれない。

^{*19} 左辺の η には含まれない h が右辺に含まれている。 h の形状や相対的な大きさによって、 η の位置付けが変わると考えても良いであろう。凹性が弱く、 h の値が大きければ η は相対的に小さい。逆に、凹性が強く、 h の値が小さければ、 η は大きいと考えることができる。命題 8 と合わせて考えると、中程度に特許を得にくい産業で懲罰的賠償が常に望ましくないと言えそうである。

2つの閾値に対し、 η の相対的な大きさとして3つのケースを考えることができ、これらの観察と式(5)から次の結果を得る。

命題 7. 高度でない産業で懲罰率が増加するとき、(i) η が十分小さければ、発明と事前安全性はともに強化される。(ii) η が中程度であれば、発明は萎縮するが、事前安全性は高まる。(iii) η が十分大きければ、発明と事前安全性はともに萎縮する。高度な産業では上の順序が逆転し、(ii)は次に置き換えられる：(ii') 発明は促進されるが、事前安全性は損なわれる。

上記2つの命題はいずれも、 h の凹性が結果に関わっている。 h がほぼ線形の場合、競合他社の発明努力によって期待される利益は急速に蝕まれる。そのため、利子率が高く、または、参入企業数が多い環境では、他社から厳しい反応を引き出さぬよう企業は手を控えるであろう。この結果、開発が抑制され、それに引き摺られて安全性も欠如する。また、ほぼ線形な h では、企業は開発競争を激化させるよりも安全性に投資することをどちらかといえば好む。実際、ほぼ線形な h が与えられると η が比較的小さいと看做されやすくなるので、安全性への投資が促進される。対照的に、 h が線形からほど遠いのであれば、結果は反転する。開発意欲を高めにくいので、競争原理を利用するのがよい。

最後に、懲罰的賠償がいつでも上手く働くわけではないことを示そう。企業行動を所与とした厚生

$$W(z^*, s^*; \gamma) = n(V + \Omega), \quad \Omega(z, s) \equiv \frac{hu}{r + nh}$$

で、パラメータ γ を変化させる。

V が z^*, s^* で最適化されていることに注意すると、

$$\frac{dW}{d\gamma} = n \left(\frac{\partial V}{\partial \gamma} + \frac{\partial \Omega}{\partial \gamma} + \underbrace{\frac{\partial \Omega}{\partial z} \frac{dz}{d\gamma} + \frac{\partial \Omega}{\partial s} \frac{ds}{d\gamma}}_{\substack{>0 >0 \\ \text{命題 7 に依存}}} \right) \quad (8)$$

である。

最初の2項は負である。事実、 $\frac{dw}{d\gamma} = \frac{\partial w}{\partial \gamma} = -Dq$ より

$$\frac{\partial V}{\partial \gamma} + \frac{\partial \Omega}{\partial \gamma} = \frac{h}{r + nh} \frac{dw}{d\gamma} = -\frac{hDq}{r + nh} < 0$$

である。

他方、最後の2項の符号は命題7に従う。したがって、懲罰率が発明と事前安全性を押さえ込んでしまうなら、式(8)は全体として負となり、厚生は悪化することが分かる。

命題 8. 高度でない（高度である）産業では大きな（小さな） η の下で懲罰的賠償を避けるべきである。

6 結論

事故の生じうる製品の特許競争を考えてきた。企業は特許競争に勝利するための強いインセンティブを持ち、事前安全性は軽視されやすい。この結果、2段階にわたる安全性が補完的な場合には、事前安全性の軽視が事後安全性の欠如をも招いてしまうであろう。いずれにせよ、欠陥の恐れにより生産量は社会的に過少な水準に留まる。

安全性は政策的に高めることができるかもしれない。しかしながら、利子率や参入者数を変化させるとき、過剰かもしれない企業の発明努力もまた同時に引き上げることになるケースがある。懲罰的賠償も安全性を高めることがあるが、しばしばその使用は社会的に望ましいとは言えなかった。

いくつかの拡張が研究課題として残されている。一つは、開発競争におけるスピルオーバーの導入である。新技術が発見された後に規制が行われる場合や、パイオニアがそういった規制に対して懸念を表明する戦略的行動についての研究も必要かもしれない。消費者についても、蓄積損害や保険、双方向的な注意といった要素が異なる帰結をもたらす可能性があるだろう。

補論

式 (5) と式 (6) を導出する。

式 (5) 式 (5) を再掲すると、 $F_z - \frac{h'\pi'}{h\pi''} F_s =$

$$(n-1)(h'\pi-1)h' + (h'\pi-1)(r+nh) + \left(h''\pi - \frac{(h'\pi')^2}{h\pi''}\right)(r+nh)$$

である。

まず、式 (3) を用いて $F_s = h'\pi'(r+nh)$ であるから、

$$-\frac{h'\pi'}{h\pi''} F_s = -\frac{(h'\pi')^2}{h\pi''}(r+nh)$$

である。

残りは

$$F_z = h''\pi(r+nh) + (h'\pi-1)nh' - (h'\pi-1)h' - (h\pi-z-s)h''$$

から構成される。2・3項をまとめると、 $(n-1)(h'\pi-1)h' > 0$ を得る。4項は $F=0$ の定義から $(h'\pi-1)(r+nh) > 0$ に等しい。

式 (6) 包絡線定理から $\pi' = -\gamma D_s q$ である。第2段階で、 q (と c) は、 s やパラメータに依存して決まる。ゆえに、 γ に関する微分から、式 (2) で定義された q^* について

$$\frac{d\pi'}{d\gamma} = -D_s q - \gamma D_s \left(-\frac{D}{2b}\right) = -D_s q_0, \quad q_0 \equiv \frac{a-c^*}{2b} > q^*$$

となる。

また、 $F_\gamma = \frac{d\pi}{d\gamma}(r+(n-1)h)h'$ であるが、式 (6) の前半を $(r+(n-1)h)h'$ で割ると、後半の部分が得られる。

参考文献

- Baumann, F. and K. Heine (2013). Innovation, tort law, and competition. *Journal of Institutional and Theoretical Economics* 169(4), 703–719.
- Ben-Shahar, O. (1998). Should products liability be based on hindsight? *Journal of Law, Economics, and Organization* 14(2), 325–357.
- Chen, Y. and X. Hua (2012). Ex ante investment, ex post remedies, and product liability. *International Economic Review* 53(3), 845–866.
- Dari-Mattiacci, G. and L. A. Franzoni (2014). Innovative negligence rules. *American Law and Economics Review* 16(2), 333–365.
- Daughety, A. F. and J. F. Reinganum (1995). Product safety: Liability, R&D, and signaling. *American Economic Review* 85(5), 1187–1206.
- Daughety, A. F. and J. F. Reinganum (1997). Everybody out of the pool: Products liability, punitive damages, and competition. *Journal of Law, Economics, and Organization* 13(2), 410–432.
- Endres, A. and R. Bertram (2006). The development of care technology under liability law. *International Review of Law and Economics* 26(4), 503–518.
- Jacob, J. (2015). Innovation in risky industries under liability law: the case of double-impact innovations. *Journal of Institutional and Theoretical Economics* 171(3), 385–404.
- Loury, G. C. (1979). Market structure and innovation. *Quarterly Journal of Economics* 93(3), 395–410.
- Nussim, J. and A. D. Tabbach (2009). A revised model of unilateral accidents. *International Review of Law and Economics* 29(2), 169–177.
- Oi, W. Y. (1973). The economics of product safety. *Bell Journal of Economics and Management Science* 4(1), 3–28.
- Parchomovsky, G. and A. Stein (2008). Torts and innovation. *Michigan Law Review* 107(2), 285–315.
- Polinsky, A. M. and W. P. Rogerson (1983). Products liability, consumer misperceptions, and market power. *Bell Journal of Economics* 14(2), 581–589.
- Polinsky, A. M. and S. Shavell (2010). The uneasy case for product liability. *Harvard Law Review* 123(6), 1437–1492.
- Russell, S., D. Dewey, and M. Tegmark (2015). Research priorities for robust and beneficial artificial intelligence. *AI Magazine* 36(4), 105–114.
- Spence, M. (1977). Consumer misperceptions, product failure and producer liability. *Review of Economic Studies* 44(3), 561–572.
- Spier, K. E. (2011). Product safety, buybacks, and the post-sale duty to warn.

Journal of Law, Economics, and Organization 27(3), 515–539.

Viscusi, W. K. and M. J. Moore (1993). Product liability, research and development, and innovation. *Journal of Political Economy* 101(1), 161–184.