九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

環境事故と貸手責任の経済分析 ： 長期契約とシャットダウン

後藤, 大策
広島大学大学院国際協力研究科 ： COE研究員

https://doi.org/10.15017/15749

出版情報：經濟學研究. 74 (2), pp.147-172, 2007-10-30. 九州大学経済学会
バージョン：
権利関係：

環境事故と貸手責任の経済分析
－長期契約とシャットダウン－

後藤　大策* †

1　はじめに

本稿では，環境事故を引き起こす可能性のあるプロジェクトを行う企業家と，そのプロジェクトに資金を貸し出す貸手との間のファイナンス関係が2期間に渡る場合において，環境事故の損害に対して資金の貸手である貸手が責任を負うような貸手責任ルールについて検討する．

従来の先行研究である Pitchford (1995), Balkenborg (2001), Hiriart and Martimort (2004) 等は,「法と経済学」のフレームワークと典型的なモラルハザードモデルを用いて，本稿と同様に，資金の貸手と借手間の関係において，貸手責任ルールが与える影響について分析を行っている．Picthford (1995) は，企業家が資金の貸手に対して全ての交渉力を持つと想定し，貸手責任ルールの適用が，企業家の選択する環境事故の発生確率に，どのような影響を与えるかについて分析をしている．また Balkenborg (2001) は，貸手責任ルールが，環境事故の発生確率に与える影響を，企業家と資金の貸手間の交渉力に注目して分析を行っている．これに対して，Hiriart and Martimort (2004) は，貸手が企業家に対して全交渉力を持つと仮定し，貸手責任ルールと環境規制が，環境事故の発生確率に与える影響を分析している．しかしながら，これらの先行研究では，1回限りのプロジェクト活動と，そのためのファイナンス関係を前提として分析を行ってきた．

これに対して本稿では，先行研究で用いられている典型的なモラルハザードモデルを，2期間に拡張することで，プロジェクト活動と資金の貸借が，2期間繰り返されるケースを取り扱う．このように，2期間に拡張されたモデルを，環境事故に適用することの利点は，第1期に実現する環境事故の状態に応じて，第2期の環境損害額を異なる額に設定できることである．つまり，環境事故が発生するたびに，その損害額が大きくなるという重要な問題[1]を，モデルに反映することができる．そこで本稿では，2期間連続して環境事故が生じたときの損害額は，2期間を通じて初めて環境事故が生じたときの損害額と比べて大きいという仮定を設定し，貸手責任ルールの採用が，その問題に対して，どのような効果を持つかについて検討を行う．とりわけ，貸手責任ルールの導入によって，第1期に環境事故が生じた場合に，第2期のプロジェクトを中止するといったシャットダウン（活動中止）が，契約に書き込まれるかどうかについて焦点を当てる．つまり，第1期の環境事故の発生に条件付けられる，第2期のプロジェクトのシャットダウンが，ファイナンス契約に採

*〒 739-8529 東広島市鏡山 1-5-1 広島大学大学院国際協力研究科国際環境協力プロジェクト研究センター
E-mail: dgoto@hiroshima-u.ac.jp

†本稿に対して，西南学院大学の小出秀雄先生をはじめ，九州工業大学の李友炯先生，九州大学の細江守紀先生，藤田敏之先生，三浦功先生から多くの有益なコメント，ならびに本誌匿名レフェリーから適切な指導をいただきました．ここに記して感謝の意を表します．なお，いうまでもなく本稿の全ての誤謬は筆者の責任です．

[1]環境事故によって一旦破壊された生態系は，それが回復・再生したとしても，その環境容量や自浄作用は縮小している．すなわち，同じ衝撃に対しても，環境容量や自浄作用の低下によって，2度目に生じる環境損害は拡大する．

用される条件は，貸手責任の導入によってどのように変化するのか，また，それは社会的に望ましいことなのかについて分析を行う．

モラルハザードにおける長期契約の分析を行っている先行研究としては，以下の文献が存在する．Rogerson(1985) では，エージェントが貯蓄や借入をできないケースを取り扱っており，最適契約において第1期の成果が第2期の分配スケジュールに影響を与えることを示した．これに対して，Chiappori et al.(1994) では，エージェントが貯蓄や借入を自由にできるケースや，その貯蓄や借入がプリンシパルによって観察可能なケースを取り扱っており，それぞれのケースでの，第2期の分配スケジュールの特徴付けを行っている．また，Fundenburg et al.(1990) は，エージェントが貯蓄や借入を自由にできるケースにおいて，長期契約を短期契約で再現可能であることを示した．しかしながら，これらの先行研究では，プリンシパルとエージェントの期待効用にのみ注目し，環境事故のような外部性が存在するケースは取り扱っていない．そのため，第1期の成果に応じて，第2期の活動自体を中止にするシャットダウンについても，これらの先行研究は取り扱っていない．

本稿では，長期のファイナンス契約を締結する主体の意思決定が，環境事故を引き起こすケースを取り上げ，貸手責任ルールの導入が，シャットダウン契約を通じて，社会厚生に与える影響を明らかにする．つまり，本稿では，貸手責任ルールを導入しない場合と，貸手責任ルールを導入した場合のそれぞれにおいて，貸手が選択する契約内容と，それが企業の事故防止行動や社会厚生に与える影響について分析を行い，最後にどのような場合に貸手責任ルールの導入が社会的に望ましいのかという問題について検討する．したがって本稿の構成は，次のようになる．まず，第2節において，モデルの枠組みと設定が説明される．次に，第3節において，ベンチマークとなるファーストベストのケースが明らかとなる．さらに，第4節において，貸手責任ルールがない場合に貸手が選択する契約内容と，その契約が，企業家の事故防止行動や社会厚生にどのような影響を与えるかを明らかにする．そして，第5節において，貸手責任ルールを導入した場合には，契約や事故防止努力，さらに社会厚生がどう変化するのかを明らかにする．またそこでは，貸手責任ルールの導入が社会的に望ましいケースについても明らかにする．最後に，第6節において，本稿で得た結論と今後の課題についてまとめを行う．

2　モデルの設定

2期間 $(t = 1, 2)$ 繰り返される，貸手と企業家の間の企業ファイナンス関係と，その関係を巡る環境事故の損害賠償責任問題を考える．第0期において企業家は，資産を保有しておらず，貸手から各期，一定額の資金 I を調達することで，2期間に渡ってプロジェクトの実行が可能となる．両主体は共にリスク中立的であり，さらに共通の割引因子 $\delta \in (0, 1)$ を持つとする．

各 t 期における企業家のプロジェクトは，t 期において，企業家に一定の利益 Π を確実にもたらすが，同時に，第三者である被害者に，環境損害 D_t を与える環境事故を惹起する可能性があるとする．ここで，t 期の環境事故の発生確率は，企業家の t 期の事故防止努力レベルに依存する．つまり，企業家は，各 t 期に事故防止努力レベル $e_t \in [0, 1]$ を選択することで，t 期の環境事故の発生を，確率 e_t で防ぐことが可能だとする．ただし，この事故防止努力レベルは，企業家の私的情報であり，企業家に不効用 $\frac{k}{2}e_t^2$ を生じさせるとする．ここで k は正のパラメータであり $D_t < k$ かつ $\Pi - I < k$ だと仮定する．また，各期の事故発生確率はそれぞれ独立だとする．

タイムラインを次のように設定する．第0期に，環境事故の損害賠償責任ルールを所与として，貸手が，企業家に交渉の余地のない長期契約 l をオファーする．第1期首に，貸手は資金 I を企業家に提供し，企業家は第1期の事故防止努力レベルを選択し，事故発生確率が決定される．第1期

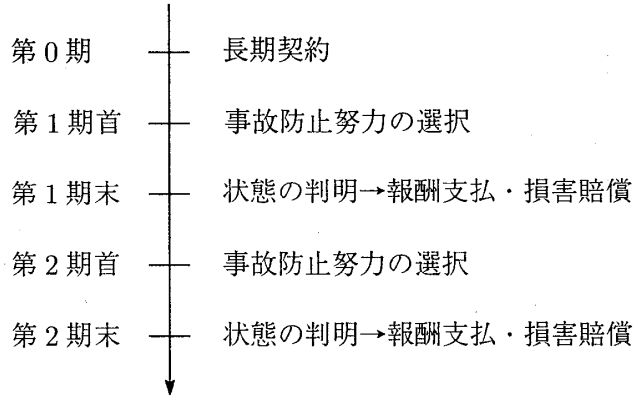

図 1: タイムライン

末に，環境事故の状態 i，無事故 $(i = n)$ もしくは事故 $(i = a)$ が判明し，状態に応じた報酬が，企業家から貸手に支払われる．また，事故発生時には，責任ルールに応じた損害賠償が，各主体によって行われる．さらに第2期でも，第1期と同様のプロセスを辿る．第2期首に，貸手は資金 I を企業家に提供し，企業家は第2期の事故防止努力レベルを選択し，事故発生確率が決定される．第2期末に，環境事故の状態 $j = n, a$ が判明し，状態に応じた報酬が，企業家から貸手に支払われる．また，事故発生時には，責任ルールに応じた損害賠償が，各主体によって行われる．

本稿における，貸手と企業家間の長期契約 l とは，2期間の状態と企業家が貸手に支払う報酬スケジュールを定めたもので，各期に実現する状態 $i, j = n, a$ に対して，$(z_i; z_{ij})$ という形式をとる．ここで，z_i は第1期の状態が i の場合の貸手への第1期の支払額であり，z_{ij} は第1期の状態が i，第2期の状態が j の場合の貸手への第2期の支払額である．つまり，長期契約において，第2期の契約内容は，第1期に実現した状態に依存するように定めることができる．したがって，長期契約は $l = \{(z_n, z_a); (z_{nn}, z_{na}), (z_{an}, z_{aa})\}$ と書くことができる．

シャットダウン契約　第1期に環境事故が生じた場合 $(i = a)$ に，第2期のプロジェクト活動を中止することを，本稿では，シャットダウンと呼ぶ．さらに，このシャットダウンを採用した長期契約をシャットダウン契約と呼ぶことにする．つまり，シャットダウン契約は，第1期に環境事故が発生した場合に，貸手は，企業家に第2期のプロジェクト資金 I を提供しない，という項目を契約に含み，それがコミットメントされる．したがって，シャットダウン契約は $\hat{l} = \{(z_n, z_a); (z_{nn}, z_{na})\}$ と書くことができる．

また，本稿では，環境事故の損害額について次のような仮定をおく．

仮定 1　**第 *2* 期の損害額 $D_2 \in \{D_n, D_a\}$ は，第 *1* 期の状態 $i = n, a$ に依存し，$D_1 = D_n < D_a$ という大小関係が成立する．ただしここで D_1 は第 *1* 期の損害額を表し，D_n, D_a は，それぞれ第 *1* 期に実現した状態が無事故，事故であるときの第 *2* 期の損害額を表す．**

つまり，2期間連続で環境事故が生じた場合の第2期の損害額 D_a は，2期間を通じて初めて事故が生じた場合の損害額 D_1 や D_n より厳密に大きいことを仮定する．

したがって，上記のような長期契約 l と，環境事故の損害額を所与としたとき，企業家の戦略は，第1期の事故防止努力レベル e_1 と，第1期の状態が i の場合の第2期の事故防止努力レベル e_i

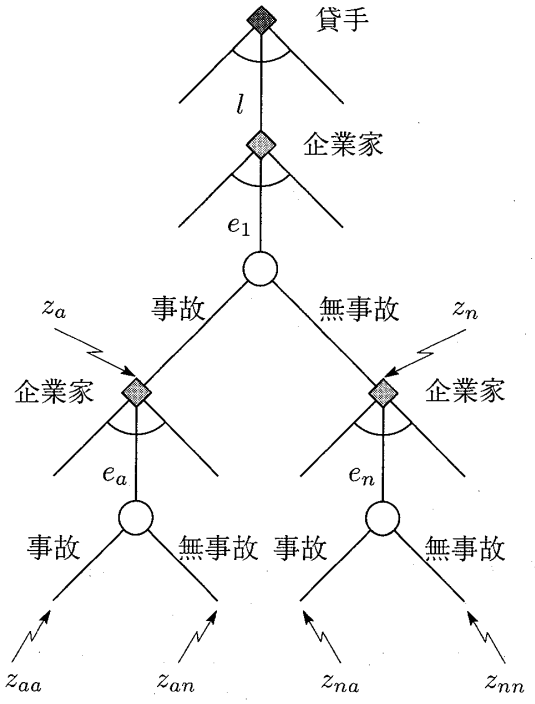

図 2: シャットダウンなし契約

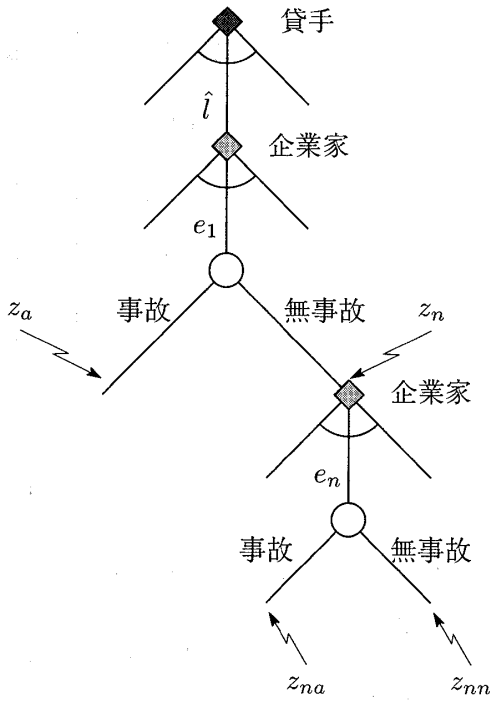

図 3: シャットダウン契約

によって構成される．よって，企業家が選択する事故防止努力レベルの組は，$(e_1; e_n, e_a)$ と書くことができる．

さらに本稿では，企業家の各期の消費行動について，次の仮定をおく．

仮定 2　**企業家は t 期のプロジェクト収益からの所得を貯蓄することなく，t 期に全額消費する．**

つまり，企業家は，t 期のプロジェクト収益から，貸手への報酬支払い額を控除した残額のうち，全てまたは一部を，次期のために貯蓄することはできない，と仮定する．この仮定と，企業家の第0期における保有資産はゼロである，という仮定によって，各 t 期首での企業家の保有資産は，ゼロとなる．

以上のような設定から，このモデルのゲームツリーは，貸手がシャットダウン契約を採用するかどうかによって異なる．貸手が，シャットダウンなしの契約を採用した場合のゲームツリーは，図2となり，シャットダウン契約を採用した場合のゲームツリーは，図3となる．

3　ファーストベスト

ここでは，企業家が選択する各期の事故防止努力レベルが，完全情報である場合を考える．

3.1　シャットダウンなし

第1期において，状態 $i = n, a$ が実現したときに，第2期もプロジェクト活動を行うとしよう．このとき，第2期の期待社会厚生は，プロジェクト活動による純収益から期待損害額と事故防止努

力の不効用を減じたものとして定義され，

$$W_i = \Pi - I - (1-e_i)D_i - \frac{k}{2}e_i^2 \quad \text{for} \quad i = n,\, a \tag{1}$$

と表すことができる．したがって，このときの2期間を通じた期待社会厚生は

$$W = \Pi - I - (1-e_1)D_1 - \frac{k}{2}e_1^2 + \delta[e_1 W_n + (1-e_1)W_a] \tag{2}$$

となる．

各期の事故防止努力レベルが完全情報である場合，社会的観点からみた望ましい努力レベルの組は，2期間を通じた期待社会厚生を最大化する．つまり

$$\max_{(e_1;\, e_n,\, e_a)} W$$

である．最大化のためのFOCは

$$\delta\left[(1-e_a)D_a + \frac{k}{2}e_a^2 - \left((1-e_n)D_n + \frac{k}{2}e_n^2\right)\right] + D_1 - ke_1 = 0, \tag{3}$$

$$D_i - ke_i = 0, \quad \text{for} \quad i = n,\, a \tag{4}$$

である．ここで(4)は，第2期の事故防止努力レベルが，第2期の事故防止努力の不効用と第2期の期待損害額が等しくなる水準になることを意味する．また(3)は，第1期の事故防止努力レベルが，第1期の事故防止努力の不効用と2期間を通じた限界期待費用の割引現在価値（第1期における事故発生の有無による第2期の期待総費用の差額の割引現在価値と，第1期の限界損害額の総和）が等しくなる水準になることを意味する．

これらより，シャットダウンがない場合の，ファーストベストの事故防止努力レベルの組$(e_1^{FB};\, e_n^{FB},\, e_a^{FB})$は，

$$e_1^{FB} = \frac{D_1 + \delta[D_a - D_n] - \frac{D_a^2 - D_n^2}{2k}}{k} \tag{3'}$$

$$e_i^{FB} = \frac{D_i}{k}, \quad \text{for} \quad i = n,\, a \tag{4'}$$

によって構成される．

よって，シャットダウンがない場合の，第2期におけるファーストベストの期待社会厚生は

$$\begin{aligned} W_i^{FB} &= \Pi - I - (1-e_i^{FB})D_i - \frac{k}{2}(e_i^{FB})^2 \\ &= \Pi - I - D_i + \frac{D_i^2}{2k} \quad \text{for} \quad i = n,\, a \end{aligned} \tag{5}$$

である．したがって，シャットダウンがない場合のファーストベストの期待社会厚生は

$$\begin{aligned} W^{FB} &= \Pi - I - (1-e_1^{FB})D_1 - \frac{k}{2}(e_1^{FB})^2 + \delta[e_1^{FB}W_n^{FB} + (1-e_1^{FB})W_a^{FB}] \\ &= \Pi - I - D_1 + \frac{\left[D_1 + \delta[D_a - D_n] - \frac{D_a^2 - D_n^2}{2k}\right]^2}{2k} + \delta\left[\Pi - I - D_a + \frac{D_a^2}{2k}\right] \end{aligned} \tag{6}$$

である．

ここで，このときのファーストベストの事故防止努力レベルの性質を明らかにしておく．(3′) より，e_1^{FB} については，次の性質が成立する．

$$\frac{\partial e_1^{FB}}{\partial D_1} = \frac{1}{k} > 0 \tag{7}$$

$$\frac{\partial e_1^{FB}}{\partial D_n} = -\frac{\delta}{k}\left[1 - \frac{D_n}{k}\right] < 0 \tag{8}$$

$$\frac{\partial e_1^{FB}}{\partial D_a} = \frac{\delta}{k}\left[1 - \frac{D_a}{k}\right] > 0 \tag{9}$$

つまり，第1期の損害額 D_1 の増加と，第1期において環境事故が発生した場合の第2期の損害額 D_a の増加は，第1期のファーストベストの事故防止努力レベルを上昇させる．一方，第1期に無事故であった場合の第2期の損害額 D_n の増加は，第1期のファーストベストの事故防止努力レベルを下降させる．また，(4′) より，e_n^{FB}, e_a^{FB} については，次の性質が成立する．

$$\frac{\partial e_i^{FB}}{\partial D_i} = \frac{1}{k} > 0, \quad \text{for} \quad i = n, a \tag{10}$$

つまり，第2期の損害額 D_i の増加は，第2期のファーストベストの事故防止努力レベルを上昇させる．

さらに，W^{FB} について (3), (4), (7), (9), (10) から，次の性質が成立する．

$$\frac{\partial W^{FB}}{\partial D_a} = -\delta\left[1 - \frac{D_1 + \delta[D_a - D_n] - \frac{D_a^2 - D_n^2}{2k}}{k}\right]\left[1 - \frac{D_i}{k}\right] < 0, \tag{11}$$

$$\frac{\partial^2 W^{FB}}{\partial {D_a}^2} = \frac{\delta}{k}\left[\delta\left[1 - \frac{D_a}{k}\right]^2 + \left[1 - \frac{D_1 + \delta[D_a - D_n] - \frac{D_a^2 - D_n^2}{2k}}{k}\right]\right] > 0 \tag{12}$$

3.2 シャットダウン

第1期において，環境事故が生じた $(i = a)$ とき，第2期のプロジェクト活動はシャットダウンされ，行われないとする．このとき，第2期の期待社会厚生は

$$\hat{W}_n = \Pi - I - (1 - e_n)D_n - \frac{k}{2}e_n^2, \tag{13}$$

$$\hat{W}_a = 0 \tag{14}$$

と表すことができ，2期間を通じた期待社会厚生は

$$\hat{W} = \Pi - I - (1 - e_1)D_1 - \frac{k}{2}e_1^2 + \delta[e_1\hat{W}_n] \tag{15}$$

となる．

各期の事故防止努力レベルが完全情報である場合，社会的観点からみた望ましい努力レベルの組は，2期間を通じた期待社会厚生を最大化する．つまり

$$\max_{(e_1; e_n)} \hat{W}$$

である．最大化のための FOC は

$$\delta\left[\Pi - I - (1 - e_n)D_n - \frac{k}{2}e_n^2\right] + D_1 - ke_1 = 0, \tag{16}$$

$$D_n - ke_n = 0 \tag{17}$$

ここで，(17) は，第 2 期の事故防止努力レベルが，第 2 期の事故防止努力の不効用と第 2 期の期待損害額が等しくなる水準になることを意味する．また (16) は，第 1 期の事故防止努力レベルが，第 1 期の努力の限界不効用と，$i=n$ のときの第 2 期の期待社会厚生の割引現在価値と第 1 期の限界損害額の総和が等しくなる水準になることを意味する．

これらより，シャットダウンを行うとき，ファーストベストの事故防止努力レベルの組 $(\hat{e}_1^{FB};\hat{e}_n^{FB})$ は，

$$\hat{e}_1^{FB}=\frac{D_1+\delta\left[\Pi-I-D_n+\frac{D_n^2}{2k}\right]}{k} \tag{16'}$$

$$\hat{e}_n^{FB}=\frac{D_n}{k} \tag{17'}$$

によって構成される．

よって，シャットダウンを行うときの，第 2 期におけるファーストベストの期待社会厚生は

$$\begin{aligned}W_n^{FB}&=\Pi-I-(1-e_n^{FB})D_n-\frac{k}{2}(e_n^{FB})^2\\&=\Pi-I-D_n+\frac{D_n^2}{2k}\end{aligned} \tag{18}$$

である．したがって，シャットダウンを行うときのファーストベストの期待社会厚生は

$$\begin{aligned}\hat{W}^{FB}&=\Pi-I-(1-\hat{e}_1^{FB})D_1-\frac{k}{2}(\hat{e}_1^{FB})^2+\delta[\hat{e}_1^{FB}\hat{W}_n^{FB}]\\&=\Pi-I-D_1+\frac{\left[D_1+\delta\left[\Pi-I-D_n+\frac{D_n^2}{2k}\right]\right]^2}{2k}\end{aligned} \tag{19}$$

である．

ここで，このときのファーストベストの事故防止努力レベルの性質を明らかにしておく．(16′) より，$\hat{e}_1^{FB}$ については，次の性質が成立する．

$$\frac{\partial\hat{e}_1^{FB}}{\partial D_1}=\frac{1}{k}>0 \tag{20}$$

$$\frac{\partial\hat{e}_1^{FB}}{\partial D_n}=-\frac{\delta}{k}\left[1-\frac{D_n}{k}\right]<0 \tag{21}$$

つまり，第 1 期の損害額 D_1 の増加は，第 1 期のファーストベストの事故防止努力レベルを上昇させ，第 1 期に無事故であった場合の第 2 期の損害額 D_n の増加は，第 1 期のファーストベストの事故防止努力レベルを下降させる．

また，(17′) より，$\hat{e}_n^{FB}$ については，次の性質が成立する．

$$\frac{\partial\hat{e}_n^{FB}}{\partial D_n}=\frac{1}{k}>0 \tag{22}$$

つまり，第 2 期の損害額 D_n の増加は，第 2 期のファーストベストの事故防止努力レベルを上昇させる．

以上の分析から，第 1 期において環境事故が発生したときに，シャットダウンせずに，第 2 期もプロジェクト活動を行うことが社会的に望ましいのは，

$$W^{FB}\geq\hat{W}^{FB} \tag{23}$$

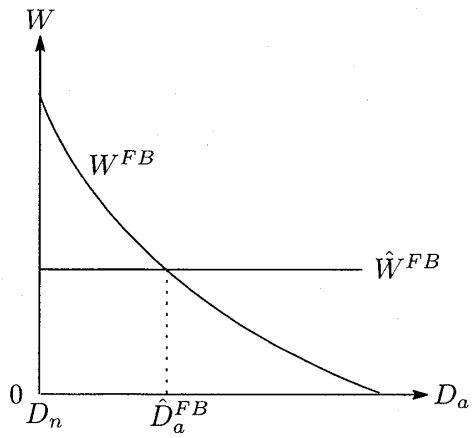

図 4: ファーストベストにおける社会厚生とシャットダウン基準

が成立するときである．(23) を等号で成立させる D_a を $\hat{D}_a^{FB}$ で表す．

このとき，図4が描ける．つまり，第2期における損害額が $D_a \leq \hat{D}_a^{FB}$ ならば，第1期に環境事故が生じた場合でも，シャットダウンを行わずに，第2期もプロジェクト活動を継続することが社会的に望ましい．一方，第2期における損害額が $\hat{D}_a^{FB} < D_a$ ならば，第1期に環境事故が生じた場合には，シャットダウンを行い，第2期のプロジェクト活動を中止することが社会的に望ましい．

4　貸手責任なしモデル

本節では，環境事故が発生したとき，プロジェクト資金の貸手である貸手には，賠償責任がない場合を考える．つまり，環境損害についての法的賠償責任は，企業家のみにある．企業家の初期保有資産はゼロ，という仮定と，仮定2によって，各 t 期における企業家の賠償資力は，プロジェクト収益額 Π から，t 期に貸手に支払う事故発生時の報酬額を減じた額に等しくなる．つまり，第1期の企業家の賠償資力は $\Pi - z_a$ であり，第1期の状態が i であった場合の第2期の企業家の賠償資力は $\Pi - z_{ia}$ である．これにより，各期において，事故発生時の企業家の賠償資力が，損害額よりも小さい場合には，企業家はその賠償資力全額を賠償に充て，期末に破産することになる．ただしこのとき，環境損害は，企業家の賠償資力額までしか賠償されず，残りの損害額は，被害者が自己負担することになる．

4.1　シャットダウンなしの契約

まず，貸手が契約によるシャットダウンを行わない場合から考える．つまり，第1期に環境事故が発生した場合にも，第2期のプロジェクトを継続する契約を，貸手がオファーするケースを考える．

第1期に，状態 $i = n, a$ が実現し，第2期も企業家のプロジェクト活動が存続しているとしよう．このとき，第2期の企業家の期待効用 U_i^N は，次のように表現できる．

$$U_i^N = \begin{cases} \Pi - e_i z_{in} - (1-e_i)(z_{ia} + D_i) - \frac{k}{2}e_i^2 & \text{for} \quad z_{ia} \leq \Pi - D_i \\ e_i[\Pi - z_{in}] - \frac{k}{2}e_i^2 & \text{for} \quad z_{ia} > \Pi - D_i \end{cases} \tag{24}$$

第2期に環境事故が発生したときの企業家の賠償資力が，損害額以上ならば，つまり $z_{ia} \leq \Pi - D_i$ ならば，企業家は第2期末で破産することはない．しかしながら，第2期に環境事故が発生したときの企業家の賠償資力が，損害額よりも小さければ，つまり $z_{ia} > \Pi - D_i$ ならば，企業家は第2期末で破産することになる．よって，このとき，第2期の企業家の誘因両立制約は

$$-z_{in} + z_{ia} + D_i - ke_i = 0 \quad \text{for} \quad z_{ia} \leq \Pi - D_i,\ i = n,\, a, \tag{25}$$

$$\Pi - z_{in} - ke_i = 0 \quad \text{for} \quad z_{ia} > \Pi - D_i,\ i = n,\, a \tag{26}$$

となる．これらより

$$e_i = \frac{z_{ia} - z_{in} + D_i}{k} \quad \text{for} \quad z_{ia} \leq \Pi - D_i,\ i = n,\, a, \tag{25'}$$

$$e_i = \frac{\Pi - z_{in}}{k} \quad \text{for} \quad z_{ia} > \Pi - D_i,\ i = n,\, a \tag{26'}$$

を得る．

一方，このときの第2期の貸手の期待効用 V_i^N は，企業家の状況にかかわらず，次のように表現できる．

$$V_i^N = -I + e_i z_{in} + (1 - e_i) z_{ia} \tag{27}$$

以上から，企業家の2期間を通じた期待効用 U^N は，次のように表現できる．

$$U^N = \Pi - e_1 z_n - (1 - e_1)(z_a + D_1) - \frac{k}{2} e_1^2 + \delta\left[e_1 U_n^N + (1 - e_1) U_a^N\right] \tag{28}$$

ただし，ここで

$$z_a \leq \Pi - D_1 \tag{29}$$

でなくてはならない．というのは，第1期において環境事故が発生したときの企業家の賠償資力が，損害額以上ならば，企業家は第1期末に破産することはなく，第2期もプロジェクト活動を継続できるからである．よって，このとき，第1期の企業家の誘因両立制約は

$$-z_n + z_a + D_1 - ke_1 + \delta[U_n^N - U_a^N] = 0 \tag{30}$$

となる．これより

$$e_1 = \frac{z_a - z_n + \delta[U_n^N - U_a^N]}{k} \tag{30'}$$

を得る．

したがって，企業家の留保効用をゼロに基準化すると，貸手は，次の問題 (P^N) を解く最適長期契約 $l^N = \{(z_n^N,\, z_a^N);\, (z_{nn}^N,\, z_{na}^N),\, (z_{an}^N,\, z_{aa}^N)\}$ を選択する．

問題 (P^N)

$$\max_l \quad V^N = -I + e_1 z_n + (1 - e_1) z_a + \delta\left[e_1 V_n^N + (1 - e_1) V_a^N\right]$$

$$\text{s.t.} \quad (25'),\ (26'),\ (30'),\ (29),$$

$$U^N \geq 0 \tag{31}$$

$$z_i \leq \Pi \quad \text{for} \quad i = n,\, a \tag{32}$$

$$z_{ij} \leq \Pi \quad \text{for} \quad i,\, j = n,\, a \tag{33}$$

ここで，(31) は，2期間を通じた企業家の参加制約である．また，(32) と (33) は，それぞれ第1期，第2期の企業家の保有資産による制約である．企業家は初期保有資産がゼロであり，仮定2より，各期のプロジェクト活動による利潤は，全額，各期に消費してしまうために，如何なる場合においても，貸手に支払う報酬額をプロジェクト収益 Π より大きくすることはできない．

この問題を解くことで，次の補題が得られる．

補題 1 貸手責任ルールがなく，シャットダウンなしの契約を貸手がオファーする場合

(i) 貸手は最適長期契約 l^N を

$$l^N = \{(z_n^N, z_a^N); (z_{nn}^N, z_{na}^N), (z_{an}^N, z_{aa}^N)\} = \left\{\left(\Pi - \frac{D_1}{2}, \Pi - D_1\right); (\Pi, \Pi), (\Pi, \Pi)\right\} \quad (34)$$

と設定し，各期に実現する状態にかかわらず，第 *2* 期の報酬額は常にプロジェクト収益額と等しくなる．

(ii) 企業家は事故防止努力レベルの組を

$$(e_1^N; e_n^N, e_a^N) = \left(\frac{D_1}{2k}; 0, 0\right) \quad (35)$$

と選択し，第 *1* 期にはファーストベストよりも過大な確率で環境事故が発生し，第 *2* 期には必ず環境事故が発生する．

(iii) 貸手と企業家の *2* 期間を通じた均衡期待効用は，それぞれ

$$V^{N*} = \Pi - I - D_1 + \frac{D_1^2}{4k} + \delta[\Pi - I], \quad (36)$$

$$U^{N*} = \frac{D_1^2}{8k} \quad (37)$$

となり，このときの期待社会厚生は

$$\begin{aligned} W^{N*} &= V^{N*} + U^{N*} - \delta\left[\frac{D_1}{2k}D_n + \left[1 - \frac{D_1}{2k}\right]D_a\right] \\ &= \Pi - I - D_1 + \frac{3D_1^2}{8k} + \delta\left[\Pi - I - D_a + \frac{D_1[D_a - D_n]}{2k}\right] \end{aligned} \quad (38)$$

が実現する．

（証明）数学的付録を参照せよ．■

補題 1 の (iii) から，貸手責任ルールがなく，貸手が契約によるシャットダウンを行わない場合には，貸手と企業家の期待効用において，第 2 期の損害額 D_a が考慮されずにプロジェクトが実施されることがわかる．これは，貸手責任ルールがないために，企業家は自身の賠償資力以上の環境損害額に対して，破産をすることで責任を免れることができるからである．

4.2 シャットダウン契約

次に，貸手が，契約によるシャットダウンを行う場合を考える．つまり，第 1 期に汚染事故が発生したときに，第 2 期にプロジェクト活動を中止するような契約を，貸手が提示するケースを考える．

このとき，第 2 期の企業家のプロジェクト活動が存続しているのは，第 1 期に無事故であった場合 $(i = n)$ に限られる．よって，第 2 期の企業家の期待効用は，次のように表現できる．

$$\hat{U}_n^N = \begin{cases} \Pi - e_n z_{nn} - (1 - e_n)(z_{na} + D_n) - \frac{k}{2}e_n^2 & \text{for} \quad z_{na} \leq \Pi - D_n \\ e_n[\Pi - z_{nn}] - \frac{k}{2}e_n^2 & \text{for} \quad z_{na} > \Pi - D_n \end{cases}$$

したがって，このとき，第2期の企業家の誘因両立制約は

$$-z_{nn} + z_{na} + D_n - ke_n = 0 \quad \text{for} \quad z_{na} \leq \Pi - D_n, \tag{39}$$

$$\Pi - z_{nn} - ke_n = 0 \quad \text{for} \quad z_{na} > \Pi - D_n \tag{40}$$

となる．これらより

$$e_n = \frac{z_{na} - z_{nn} - D_n}{k} \quad \text{for} \quad z_{na} \leq \Pi - D_n, \tag{39'}$$

$$e_n = \frac{\Pi - z_{nn}}{k} \quad \text{for} \quad z_{na} > \Pi - D_n \tag{40'}$$

を得る．

一方，このとき，第2期の貸手の期待利得 $\hat{V}_n^N$ は，次のように表現できる．

$$\hat{V}_n^N = -I + e_n z_{nn} + (1 - e_n) z_{na} \tag{41}$$

以上から，シャットダウン契約を採用した場合，企業家の2期間を通じた期待効用 $\hat{U}^N$ は，次のように表現できる．

$$\hat{U}^N = \begin{cases} \Pi - e_1 z_n - (1 - e_1)(z_a + D_1) - \frac{k}{2} e_1^2 + \delta[e_1 \hat{U}_n^N] & \text{for} \quad z_a \leq \Pi - D_1 \\ e_1[\Pi - z_n] - \frac{k}{2} e_1^2 + \delta[e_1 \hat{U}_n^N] & \text{for} \quad z_a > \Pi - D_1 \end{cases} \tag{42}$$

ここで，$z_a \leq \Pi - D_1$ は，第1期に環境事故が生じた場合に，企業家を破産させずに，第2期のプロジェクト活動を中止するようなシャットダウン契約を，貸手が採用するケースを表す．一方，$z_a > \Pi - D_1$ は，第1期に環境事故が生じた場合に，企業家を破産させて，第2期のプロジェクト活動を中止するようなシャットダウン契約を，貸手が採用するケースを表す．よって，このときの第1期の企業家の誘因両立制約は

$$-z_n + z_a + D_1 - ke_1 + \delta \hat{U}_n^N = 0 \quad \text{for} \quad z_a \leq \Pi - D_1, \tag{43}$$

$$\Pi - z_n - ke_1 + \delta \hat{U}_n^N = 0 \quad \text{for} \quad z_a > \Pi - D_1 \tag{44}$$

となる．これらより

$$e_1 = \frac{z_a - z_n + D_1 + \delta \hat{U}_n^N}{k} \quad \text{for} \quad z_a \leq \Pi - D_1, \tag{43'}$$

$$e_1 = \frac{\Pi - z_n + \delta \hat{U}_n^N}{k} \quad \text{for} \quad z_a > \Pi - D_1 \tag{44'}$$

を得る．

したがって，企業家の留保効用をゼロに基準化すると，貸手は，次の問題 $(\hat{P}^N)$ を解く最適長期契約 $\hat{l}^N = \{(\hat{z}_n^N, \hat{z}_a^N); (\hat{z}_{nn}^N, \hat{z}_{na}^N)\}$ を選択する．

$$\textbf{問題}\ (\hat{P}^N) \qquad \max_{\hat{l}} \quad \hat{V}^N = -I + e_1 z_n + (1 - e_1) z_a + \delta e_1 \hat{V}_n^N$$

$$\text{s.t.} \quad (39'), (40'), (43'), (44'), (32),$$

$$\hat{U}^N \geq 0 \tag{45}$$

$$z_{nj} \leq \Pi \quad \text{for} \quad j = n, a \tag{46}$$

ここで (45) は，2期間を通じた企業家の参加制約である．また (32) と (46) は，それぞれ第1期，第2期の企業家の保有資産による有限責任制約である．

この問題を解くことで，次の補題が得られる．

補題 2 貸手責任ルールがなく，シャットダウン契約を貸手がオファーする場合

(i) 貸手は最適長期契約 $\hat{l}^N$ を

$$\hat{l}^N = \{(\hat{z}_n^N, \hat{z}_a^N); (\hat{z}_{nn}^N, \hat{z}_{na}^N)\} = \left\{\left(\Pi - \frac{\delta[\Pi - I]}{2}, \Pi\right); (\Pi, \Pi)\right\} \tag{47}$$

と設定し，実現する状態にかかわらず，第 2 期の報酬額はプロジェクト収益額と等しくなる．

(ii) 企業家は事故防止努力レベルの組を

$$(\hat{e}_1^N; \hat{e}_n^N) = \left(\frac{\delta[\Pi - I]}{2k}; 0\right) \tag{48}$$

と選択し，第 1 期の事故防止努力は正の値をとる．第 2 期の事故防止努力は，常にゼロとなり，第 2 期には必ず環境事故が発生する．

(iii) 貸手と企業家の 2 期間を通じた均衡期待効用は，それぞれ

$$\hat{V}^{N*} = \Pi - I + \frac{\delta^2[\Pi - I]^2}{4k}, \tag{49}$$

$$\hat{U}^{N*} = \frac{\delta^2[\Pi - I]^2}{8k} \tag{50}$$

となり，このときの期待社会厚生は

$$\hat{W}^{N*} = \hat{V}^{N*} + \hat{U}^{N*} - (1 - \hat{e}_1^N)D_1 - \delta\hat{e}_1^N D_n \tag{51}$$

$$= \Pi - I - D_1 + \frac{D_1^2}{2k} - \delta\frac{D_1 D_n}{2k} + \frac{3\delta^2[\Pi - I]^2}{8k} \tag{52}$$

が実現する．

（証明）数学的付録を参照せよ．■

補題 2 の (iii) から，貸手責任ルールがなく，貸手が契約によるシャットダウンを行う場合には，貸手と企業家の期待効用において，各期の期待損害額が考慮されずにプロジェクトが実施されることがわかる．

シャットダウン契約の採用条件　これまでの分析により，貸手責任ルールがなく，第 1 期において環境事故が発生した場合に，第 2 期のプロジェクト活動をシャットダウンする契約を，貸手が企業家にオファーするのは

$$V^{N*} \leq \hat{V}^{N*}$$

が成立するときであり，この条件式は，次のように書き換えることができる．

$$\delta[\Pi - I]\left[1 - \frac{\delta[\Pi - I]}{4k}\right] \leq D_1\left[1 - \frac{D_1}{4k}\right] \quad \Leftrightarrow \quad \delta[\Pi - I] \leq D_1 \tag{53}$$

これより，第 1 期の損害額 D_1 が，第 2 期のプロジェクト純収益の割引現在価値 $\delta[\Pi - I]$ より大きいときに限り，貸手はシャットダウン契約を企業家にオファーするということが分かる．

以上から，次の命題を得る．

命題 1 貸手責任ルールがない場合に，

(i) 第 *1* 期の環境損害額が，第 *2* 期のプロジェクトの純収益の割引現在価値よりも小さいならば，第 *1* 期において確率 $1-\frac{D_1}{2k}$ で環境事故が発生し，その損害額は全額貸手が負担する．さらに，このとき，第 *2* 期のプロジェクト活動は，シャットダウンされることなく実施される．

(ii) 第 *1* 期の環境損害額が，第 *2* 期のプロジェクトの純収益の割引現在価値よりも大きいならば，第 *1* 期において確率 $1-\frac{\delta[\Pi-I]}{2k}$ で環境事故が発生し，その損害額は賠償されることはない．さらに，このとき，第 *2* 期のプロジェクト活動は，シャットダウンされ実施されない．

(iii) 第 *2* 期のプロジェクト活動が実施されるならば，必ず第 *2* 期に環境事故が発生し，その損害額は賠償されることはない．

貸手責任ルールがない場合，プロジェクト資金の貸手である貸手には，法的責任がなく，企業家も破産をすることによって，自身が手にする額以上の賠償責任を免れることが可能である．このとき，貸手は「第 1 期に環境事故が生じた場合に第 2 期にプロジェクトを続けるべきかどうか」という意思決定問題において，第 1 期の環境損害額を考慮に入れるものの，第 2 期の損害額は全く考慮に入れない．したがって，第 1 期の環境損害額 D_1 は小さいが，2 期間続けて環境事故が生じた場合の損害額 D_a が極めて大きい場合においては，プロジェクト活動はシャットダウンされることはなく，第 2 期に環境事故が必ず生じることになる．このとき，第 1 期の損害は，企業家が手にする所得額を用いて賠償されることになるが，第 2 期の損害は，賠償されることなく，全額を被害者が自己負担をすることになる．

貸手責任ルールがない場合，第 1 期において環境事故が発生した場合に，第 2 期のプロジェクトを中止するようなシャットダウン契約は，条件式 (53) が満たされている場合に限り，資金の貸手である貸手によって選択されることになる．しかしながら，ファーストベストとは異なり，貸手責任ルールがない場合には，シャットダウン契約の採用条件 (53) は D_a とは独立に決まる．つまり，2 期間連続して環境事故が生じた場合の損害額がどんなに大きくても，第 1 期の損害額が，第 2 期のプロジェクト純収益の現在価値よりも小さければ，シャットダウン契約は選択されず，第 1 期に環境事故が生じたとしても第 2 期もプロジェクトが存続し，必ず第 2 期に環境事故が生じることになる．したがって，貸手責任ルールがない場合には，環境事故が毎期発生することで生じる壊滅的な環境損害を防ぐような契約を，貸手－企業家間で結ばせることはできない．

5 貸手責任モデル

本節では，環境事故が発生したとき，プロジェクト資金の貸手である貸手に，全ての賠償責任がある場合を考える．つまり，環境損害についての法的賠償責任は，貸手のみにある．貸手には資産制約がないという仮定から，環境事故が発生した場合，貸手は全損害額を賠償しなくてはならない．一方，企業家は初期保有資産はゼロという仮定と，仮定 2 によって，各期において環境事故が発生したとしても，企業家は賠償責任を問われることなはく，期末に破産することはない．

前節同様，シャットダウン契約の有無によってケース分けして考える．

5.1 シャットダウンなしの契約

まず，貸手が契約によるシャットダウンを行わない場合から考える．つまり，第 1 期に環境事故が発生したときにも，第 2 期のプロジェクト活動を継続するような契約を，貸手がオファーするケースを考える．

第1期に，状態 $i=n, a$ が実現し，第2期も企業家のプロジェクト活動が存続しているとしよう．このとき，第2期の企業家の期待効用 U_i^L は，次のように表現できる．

$$U_i^L = \Pi - e_i z_{in} - (1-e_i) z_{ia} - \frac{k}{2} e_i^2 \tag{54}$$

したがって，このときの第2期の企業家の誘因両立制約は

$$-z_{in} + z_{ia} - k e_i = 0, \quad \text{for} \quad i = n, a \tag{55}$$

となる．これより

$$e_i = \frac{z_{ia} - z_{in}}{k}, \quad \text{for} \quad i = n, a \tag{55'}$$

を得る．

一方，このとき，貸手の期待効用 V_i^L は，次のように表現できる．

$$V_i^L = -I + e_i z_{in} + (1-e_i)(z_{ia} - D_i), \quad \text{for} \quad i = n, a \tag{56}$$

以上から，企業家の2期間を通じた期待効用 U^L は，次のように表現できる．

$$U^L = \Pi - e_1 z_n - (1-e_1) z_a - \frac{k}{2} e_1^2 + \delta\left[e_1 U_n^L + (1-e_1) U_a^L\right] \tag{57}$$

よって，このとき，第1期の企業家の誘因両立制約は

$$-z_n + z_a - k e_1 + \delta[U_n^L - U_a^L] = 0 \tag{58}$$

となる．これより

$$e_1 = \frac{z_a - z_n + \delta[U_n^L - U_a^L]}{k} \tag{58}$$

を得る．

したがって，企業家の留保効用をゼロに基準化すると，貸手は，次の問題 (P^L) を解く長期最適契約 $l^L = \{(z_n^L, z_a^L); (z_{nn}^L, z_{na}^L), (z_{an}^L, z_{aa}^L)\}$ を選択する．

問題 (P^L)

$$\begin{aligned} \max_l \quad & V^L = -I + e_1 z_n + (1-e_1)(z_a - D_1) + \delta\left[e_1 V_n^L + (1-e_1) V_a^L\right] \\ \text{s.t.} \quad & (55'), (58), (32), (33), \\ & U^L \geq 0 \end{aligned} \tag{59}$$

ここで，(58) と (55′) は，それぞれ第1期，第2期の企業家の誘因両立制約であり，(32) と (33) は，それぞれ第1期，第2期の企業家の保有資産による有限責任制約である．また，(59) は2期間を通じた企業家の参加制約である．

この問題を解くことで，次の補題が得られる．

補題 3 貸手責任ルールがあり，シャットダウンなしの契約を貸手がオファーする場合，

***(i)* 貸手は最適長期契約 l^L を**

$$\begin{aligned} l^L &= \{(z_n^L, z_a^L); (z_{nn}^L, z_{na}^L), (z_{an}^L, z_{aa}^L)\} \\ &= \left\{ \left(\Pi - \frac{D_1 - \delta[D_a - D_n] + \frac{\delta}{8k}[D_a^2 - D_n^2]}{2}, \Pi \right); \right. \\ &\qquad \left. \left(\Pi - \frac{D_n}{2}, \Pi \right), \left(\Pi - \frac{D_a}{2}, \Pi \right) \right\} \end{aligned} \tag{60}$$

と設定し，各期における事故発生時の報酬額を Π とする．

(ii) 企業家は，事故防止努力レベルの組を

$$(e_1^L;\, e_n^L,\, e_a^L) = \left(\frac{D_1 + \delta[D_a - D_n] - \frac{3\delta}{8k}[D_a^2 - D_n^2]}{2k};\ \frac{D_n}{2k},\ \frac{D_a}{2k} \right) \tag{61}$$

と選択し，各期において正の事故防止努力レベルを選択する．

(iii) 貸手と企業家の 2 期間を通じた均衡期待効用は，それぞれ

$$V^{L*} = \Pi - I - D_1 + \delta \left[\Pi - I - D_a + \frac{D_a^2}{4k} \right] + \frac{\left[D_1 + \delta[D_a - D_n] - \frac{3\delta}{8k}[D_a^2 - D_n^2] \right]^2}{4k} \tag{62}$$

$$U^{L*} = \frac{\delta D_a^2 + \left[D_1 + \delta[D_a - D_n] - \frac{3\delta}{8k}[D_a^2 - D_n^2] \right]^2}{8k} \tag{63}$$

となり，このときの期待社会厚生は

$$\begin{aligned} W^{L*} &= V^{L*} + U^{L*} \\ &= \Pi - I - D_1 + \delta \left[\Pi - I - D_a + \frac{3D_a^2}{8k} \right] \\ &\quad + \frac{3\left[D_1 + \delta[D_a - D_n] - \frac{3\delta}{8k}[D_a^2 - D_n^2] \right]^2}{8k} \end{aligned} \tag{64}$$

が実現する．

（証明）数学的付録を参照せよ．■

V^{L*} について，次の性質が成立する．

$$\frac{\partial V^{L*}}{\partial D_a} = -\delta \left[1 - \frac{1}{2k} \left[D_a + \left[D_1 + \delta[D_a - D_n] - \frac{3\delta}{8k}[D_a^2 - D_n^2] \right] \left[1 - \frac{3D_a}{4k} \right] \right] \right] < 0 \tag{65}$$

すなわち，第 1 期に環境事故が生じた場合の第 2 期の損害額 D_a の上昇は，貸手の期待効用を減少させる．

5.2 シャットダウン契約

次に，貸手が，契約によるシャットダウンを行う場合を考える．つまり，第 1 期に環境事故が発生したときに，第 2 期にプロジェクト活動を中止するような契約を，貸手が提示するケースを考える．

このとき，第 2 期の企業家のプロジェクト活動が存続しているのは，第 1 期に無事故であった場合 $(i = n)$ に限られる．よって，第 2 期の企業家の期待効用は，次のように表現できる．

$$\hat{U}_n^L = \Pi - e_n z_{nn} - (1 - e_n) z_{na} - \frac{k}{2} e_n^2$$

したがって，このとき，第 2 期の企業家の誘因両立制約は

$$-z_{nn} + z_{na} - k e_n = 0 \tag{66}$$

となる．これより

$$e_n = \frac{z_{na} - z_{nn}}{k} \tag{66'}$$

を得る．

一方，このとき，貸手の期待効用 $\hat{V}_n^L$ は，次のように表現できる．

$$\hat{V}_n^L = -I + e_n z_{nn} + (1 - e_n)(z_{na} - D_n) \tag{67}$$

以上から，シャットダウン契約を採用した場合，企業家の2期間を通じた期待効用 $\hat{U}^L$ は，次のように表現できる．

$$\hat{U}^L = \Pi - e_1 z_n - (1 - e_1) z_a - \frac{k}{2} e_1^2 + \delta[e_1 \hat{U}_n^L] \tag{68}$$

よって，このとき，第1期の企業家の誘因両立制約は

$$-z_n + z_a - k e_1 + \delta \hat{U}_n^L = 0 \tag{69}$$

となる．これより

$$e_1 = \frac{z_a - z_n + \delta \hat{U}_n^L}{k} \tag{69'}$$

を得る．

したがって，企業家の留保効用をゼロに基準化すると，貸手は，次の問題 $(\hat{P}^L)$ を解く長期最適契約 $\hat{l}^L = \{(\hat{z}_n^L, \hat{z}_a^L); (\hat{z}_{nn}^L, \hat{z}_{na}^L)\}$ を選択する．

$$\begin{aligned} \textbf{問題}\ (\hat{P}^L) \qquad & \max_{\hat{l}} \quad \hat{V}^L = -I + e_1 z_n + (1 - e_1)(z_a - D_1) + \delta\left[e_1 \hat{V}_n^L\right] \\ & \text{s.t.} \quad (69'), (66'), (32), (46), \\ & \qquad\ \ \hat{U}^L \geq 0 \end{aligned} \tag{70}$$

ここで (69′) と (66′) は，それぞれ第1期，第2期の企業家の誘因両立制約であり，(32) と (46) は，それぞれ第1期，第2期の企業家の保有資産による有限責任制約である．また (70) は，2期間を通じた企業家の参加制約である．

この問題を解くことで，次の補題が得られる．

補題 4 貸手責任ルールがあり，シャットダウン契約を貸手がオファーする場合，

(i) 貸手は最適長期契約 $\hat{l}^L$ を

$$\begin{aligned} \hat{l}^L &= \{(\hat{z}_n^L, \hat{z}_a^L); (\hat{z}_{nn}^L, \hat{z}_{na}^L)\} \\ &= \left\{ \left(\Pi - \frac{D_1 + \delta\left[\Pi - I - D_n + \frac{D_n^2}{8k}\right]}{2}, \Pi \right); \left(\Pi - \frac{D_n}{2k}, \Pi \right) \right\} \end{aligned} \tag{71}$$

と設定し，各期における事故発生時の報酬額を，プロジェクト収益額と等しくする．

(ii) 企業家は事故防止努力レベルの組を

$$(\hat{e}_1^L; \hat{e}_n^L) = \left(\frac{D_1 + \delta\left[\Pi - I - D_n + \frac{3D_n^2}{8k}\right]}{2k}; \frac{D_n}{2k} \right) \tag{72}$$

と選択し，各期において正の事故防止努力レベルを選択する．

(iii) **貸手と企業家の 2 期間を通じた均衡期待効用は，それぞれ**

$$\hat{V}^{L*} = \Pi - I - D_1 + \frac{\left[D_1 + \delta\left[\Pi - I - D_n + \frac{3D_n^2}{8k}\right]\right]^2}{4k}, \tag{73}$$

$$\hat{U}^{L*} = \frac{\left[D_1 + \delta\left[\Pi - I - D_n + \frac{3D_n^2}{8k}\right]\right]^2}{8k} \tag{74}$$

となり，このときの期待社会厚生は

$$\hat{W}^{L*} = \hat{V}^{L*} + \hat{U}^{L*} \tag{75}$$

$$= \Pi - I - D_1 + \frac{3}{8k}\left[D_1 + \delta\left[\Pi - I - D_n + \frac{3D_n^2}{8k}\right]\right]^2 \tag{76}$$

が実現する．

（証明）数学的付録を参照せよ．■

補題 4 から，貸手責任ルール下でのシャットダウン契約が導く，第 1 期に無事故だった場合の第 2 期の均衡事故防止努力レベルは，シャットダウンなしのケースと同一である．

シャットダウン契約の採用条件　これまでの分析により，貸手責任ルールの下で，第 1 期において環境事故が発生した場合に，第 2 期のプロジェクト活動をシャットダウンする契約を，貸手が企業家にオファーするのは

$$V^{L*} \leq \hat{V}^{L*} \tag{77}$$

が成立するときである．ここで，V^{L*} は (65) から D_a の減少関数である．一方で，$\hat{V}^{L*}$ は D_a には依存しないことから，(77) を等号で成立させる D_a が存在し，それを $\hat{D}_a^L$ で表すことにする[2]．

このとき，図 5 が描けるつまり，貸手責任ルールの下では，第 2 期における損害額が $D_n < D_a \leq \hat{D}_a^L$ ならば，第 1 期に環境事故が生じた場合でも，シャットダウンを行わずに，第 2 期もプロジェクトを継続する契約が，貸手によって選択される．一方，第 2 期における損害額が $D_n < \hat{D}_a^L < D_a$ ならば，第 1 期に環境事故が生じた場合には，シャットダウンを行い，第 2 期のプロジェクトを中止する契約が，貸手によって選択される．

以上から，次の命題を得る．

命題 2 貸手責任ルールの下では，

(i) **プロジェクトが実施される全ての期において，正の事故防止努力レベルが選択され，環境事故が生じたとしても損害額は全額賠償される．**

(ii) **プロジェクト資金の貸手である貸手が，シャットダウン契約を用いるための閾値が，2 期間連続して環境事故が生じた場合の損害額に存在する．その閾値を超えるような損害額に，貸手が直面するならば，第 1 期に環境事故が生じた場合に第 2 期のプロジェクトを中止するようなシャットダウン契約が選択される．**

[2] より具体的には，$\hat{D}_a^L$ は

$$\frac{9\delta}{64k^2}D_a^4 - \frac{3\delta}{4k}D_a^3 + \left[1 + \delta - \frac{3D_1}{4k} + \frac{3\delta D_n}{4k} - \frac{9\delta}{32k}\right]D_a^2 - \left[4k + 2\delta D_n - 2D_1 - \frac{3\delta}{4k}D_n^2\right]D_a$$
$$+ 4(\Pi - I)k - \delta[\Pi - I]^2 - 2\delta[\Pi - I]D_n + 2[\Pi - I]D_1 + \frac{3(\Pi - I)\delta D_n^2}{4k} = 0$$

の解の一つである．このとき，各パラメータ間の大小関係に関する仮定 $0 < \delta < 1 < D_1 = D_n \leq \Pi - I < k$ 及び $D_n < D_a < k$ が遍く満たされていれば，$\hat{D}_a^L$ は必ず一意に定まる．

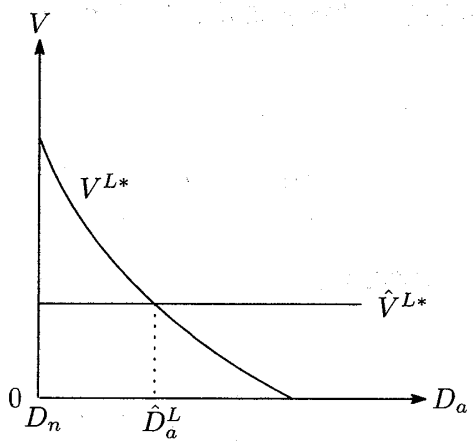

図 5: 貸手責任ルール下での貸手の均衡期待効用とシャットダウン基準

貸手責任ルールを導入することにより，プロジェクト資金の貸手である貸手は，環境事故が生じた場合には，その損害額について全責任を負うことになる．このとき，貸手責任ルールがない場合とは異なり，貸手は，第1期の損害額だけではなく，第2期の損害額についても考慮した上で，企業家に契約をオファーしなくてはならない．したがって，第1期の損害額 D_1 は小さいけれども，2期間連続して環境事故が生じた場合の損害額 D_a が極めて大きい場合には，シャットダウン契約が選択されることになり，第1期に事故が発生したときには，第2期のプロジェクトは中止されることになる．つまり，貸手責任ルールは，事故が毎期発生することで生じる壊滅的な環境損害を防ぐような契約を，貸手－企業家間で結ばせることが可能となる．

6　政策的含意：貸手責任ルールの有用性

最後に，貸手責任ルールの有用性について，社会厚生の観点から検討を行う．補題 1, 2, 3, 4 により，仮定1を満たす環境損害額の組について

$$W^{N*} < W^{L*} < W^{FB}$$
$$\hat{W}^{N*} < \hat{W}^{L*} < \hat{W}^{FB}$$

が直ちに得られる．つまり，貸手がシャットダウン契約を採用するかどうか，という選択を所与としたときには，必ず貸手責任ルールを導入することが望ましい．しかしながら，貸手がシャットダウン契約を採用するかどうかは，貸手責任ルールの有無にも依存する．

そこで以下では，貸手責任ルールを導入することが望ましいケースを明らかにする．

ここで (64) から

$$\frac{\partial W^{L*}}{\partial D_a} = -\delta\left[1-\frac{3D_a}{4k}\right]\left[1-\frac{3}{4k}\left[D_1+\delta[D_a-D_n]-\frac{3\delta}{8k}[D_a^2-D_n^2]\right]\right] < 0 \tag{78}$$

$$\frac{\partial^2 W^{L*}}{\partial D_a^2} = \frac{3\delta}{4k}\left[1-\frac{3}{4k}\left[D_1+\delta[D_a-D_n]-\frac{3\delta}{8k}[D_a^2-D_n^2]\right]\right] > 0 \tag{79}$$

であり，W^{L*} は D_a の減少関数である．そこで，$W^{L*}=\hat{W}^{L*}$ を成立させるような D_a を，$\tilde{D}_a^L$ とすると，$\hat{D}_a^L$ と $\tilde{D}_a^L$ の大小関係別に図6が描ける．

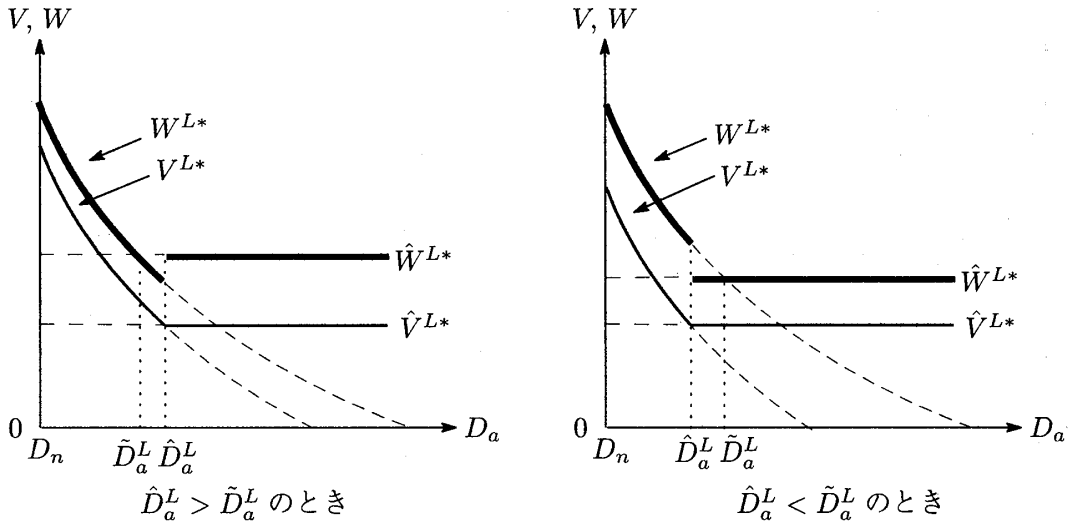

図 6: 貸手責任ルール下での貸手の均衡期待効用と社会厚生

図 6 より，$\hat{D}_a^L$ と $\tilde{D}_a^L$ が一致しない限り，$\hat{D}_a^L$ において，期待社会厚生が不連続にジャンプすることがわかる．したがって，このような期待社会厚生における不連続性に注意すると，次の命題が得られる．

命題 3 仮定 *2* を満たす任意の D_a に対して，貸手責任ルールの導入が望ましいのは，次のようなケースである．

(i) $\hat{D}_a^L < \tilde{D}_a^L$ であり，貸手責任ルールがない場合に，貸手がシャットダウン契約を選択しないケース

(ii) $\hat{D}_a^L < \tilde{D}_a^L$ であり，貸手責任ルールがない場合に，貸手がシャットダウン契約を選択し，$D_a = \hat{D}_a^L$ において $W^{L*} \geq \hat{W}^{N*}$ が成立するケース

(iii) $\hat{D}_a^L > \tilde{D}_a^L$ であり，貸手責任ルールがない場合に，貸手がシャットダウン契約を選択するケース

(iv) $\hat{D}_a^L > \tilde{D}_a^L$ であり，貸手責任ルールがない場合に，貸手がシャットダウン契約を選択せず，$D_a = \hat{D}_a^L$ において $\hat{W}^{L*} \geq W^{N*}$ が成立するケース

(v) $\hat{D}_a^L = \tilde{D}_a^L$ が成立するケース

このようなケースが成立するかどうかは，外生的なパラメータの相対的な大小関係に大きく依存する．またこのような上記の条件を満たさない場合には，貸手責任ルール下での期待社会厚生よりも，貸手責任ルールなしの期待社会厚生が高い D_a が $[\hat{D}_a^L, \tilde{D}_a^L]$ もしくは $[\tilde{D}_a^L, \hat{D}_a^L]$ に存在することになる．図 7 では，そのような D_a を $\hat{W}^{N*}$, W^{N*} 上の太線で示している[3]．しかしながら，太線部分以外の D_a については，貸手責任ルールの導入が社会的に望ましいことになる．

7 結語

本稿では，環境事故を惹起する可能性のあるプロジェクトを行う企業家と，そのプロジェクトに資金を貸し出す貸手のファイナンス関係が 2 期間繰り返されるときに，環境事故による損害に対し

[3]例えば，$\Pi = 4$, $I = 1$, $D_1 = D_n = 2$, $k = 5$, $\delta = 0.1$ のケースは，図 7 の $\hat{D}_a^L < \tilde{D}_a^L$ のケースに該当する．

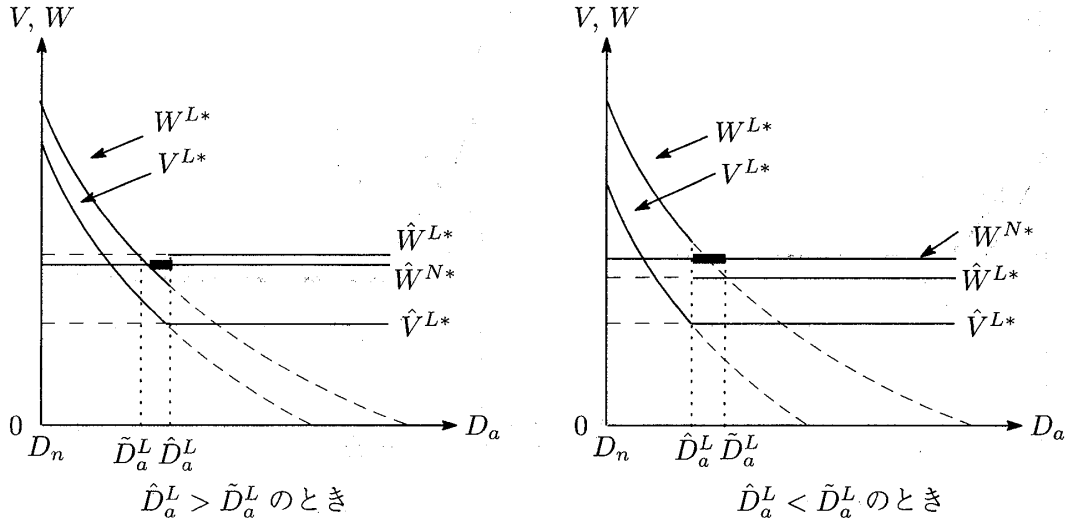

図 7: 貸手責任ルールの導入と社会厚生

て，プロジェクト資金の貸手である貸手が責任を負うような貸手責任ルールが，貸手と企業家間のファイナンス契約を通じて，企業家の事故防止努力に与える影響について分析をした．とりわけ，2期間を通じて初めて環境事故が発生した場合の損害額と，2期間連続で環境事故が発生した場合の損害額が異なると想定し，第1期に環境事故が生じてしまった場合に，第2期のプロジェクト活動を中止するというシャットダウン契約を，貸手が採用するかどうかについて理論的に分析をおこなった．

本稿で得られた結論は以下の通りである．

貸手責任ルールがない場合には，貸手は第2期の環境損害額を考慮せず，第1期の環境損害額の，第2期のプロジェクト純収益に対する相対的な大きさによって，シャットダウン契約を選択するかどうか意思決定を行うことが明らかとなった．したがって，2期間連続で環境事故が生じた場合の損害額が，極めて大きくても，第1期の損害額が，第2期のプロジェクト純収益に対して小さければ，シャットダウン契約が選択されることはなく，その場合には，第2期に事故防止努力が全くされずに，必ず環境事故が生じることになることを明らかにした．さらにこのとき，第1期の損害額については企業家が責任を負うものの，第2期の損害額については，企業家が破産をすることで，被害者が全額自己負担しなくてはならないことも明らかとなった．

一方，貸手責任ルールを導入した場合には，貸手は各期の環境損害額を考慮し，企業家にプロジェクト契約をオファーすることになる．この場合，貸手は2期間連続で環境事故が生じた場合の損害額についても責任を負うことになるため，その損害額が極めて大きい場合には，第1期に汚染事故が生じた時点で，第2期のプロジェクト活動を中止するようなシャットダウン契約を選択することが明らかとなった．さらにこのとき，各期に必ず事故防止努力が企業家によって行われることも明らかとなった．また，最後に社会厚生の比較を行うことで，貸手責任ルールの導入が望ましい5つのケースを示した．これにより，2期間連続で事故が発生したときの損害額が，特定の範囲内にある場合には，貸手責任ルールの導入は必ずしも期待社会厚生を改善するとは限らないが，特定の範囲外にある場合には，貸手責任ルールの導入は，必ず期待社会厚生の改善を導くことが明らかとなった．

最後に，残された課題について触れることにする．本稿では，環境事故の発生確率が，企業家の私的情報である事故防止努力レベルの関数であるケースのモラルハザードモデルを，2期間に拡張することで議論を行ってきた．しかしながら，現実の環境事故問題では，企業家間に事故防止

能力や汚染処理能力の差が存在し，それが各企業家の私的情報であるケースも考えられる．また，必ずしも環境事故を引き起こした当事者を，被害者や第三者が，明確に捕捉できるとも限らない．したがって，環境事故を引き起こしたからといって，容易にその責任を，企業家やその資金の貸手に負担させることができないケースを考慮すべきであろう．以上のような課題は，今後検討していきたい．

数学的付録

補題 1 の証明

まず最初に，第 1 期に実現した状態 $i = n, a$ を所与とし，第 2 期に企業家のプロジェクト活動が存続しているケースについて考える．このときの第 2 期の最適報酬契約 (z_{in}^N, z_{ia}^N) は，次の問題 (P_i^N) の解である．

$$\textbf{問題}\,(P_i^N) \qquad \max_{(z_{in},\, z_{ia})} \quad V_i^N = -I + e_i z_{in} + (1 - e_i) z_{ia}$$
$$\text{s.t.} \quad (25'),\ (26'),\ (33)$$

問題 (P_i^N) より，事故発生時における企業家の賠償資力 $\Pi - z_{ia}$ の損害額 D_i に対する大きさによって，企業家の誘因両立制約が異なるため，以下ではケース別に第 2 期の最適報酬契約の導出を行う．

【ケース 1_i $(z_{ia} > \Pi - D_i)$】 まず，貸手が $z_{ia} > \Pi - D_i$ と設定するケースから考える．このとき，第 2 期に事故が発生した場合の企業家の賠償資力は，損害額よりも小さいので，事故が起こると必ず企業家は破産する．(26′) を，貸手の目的関数に代入すると問題 (P_i^N) は，次のように表現できる．

$$\max_{(z_{in},\, z_{ia})} \quad V_{i-}^N = -I + \left[\frac{\Pi - z_{in}}{k}\right] z_{in} + \left[1 - \frac{\Pi - z_{in}}{k}\right] z_{ia}$$
$$\text{s.t.} \quad z_{in} \le \Pi \quad \text{for} \quad i = n, a \tag{80}$$
$$\Pi - D_i < z_{ia} \le \Pi \quad \text{for} \quad i = n, a \tag{81}$$

ここで z_{ia} は，貸手にとって可能な限り大きい方が望ましいので，第 2 期における事故発生時の最適報酬額は

$$z_{ia-}^N = \Pi \quad \text{for} \quad i = n, a \tag{82}$$

である．さらにこのとき，z_{in} についての最大化のための FOC は

$$\frac{\Pi - z_{in}}{k} - \frac{z_{in}}{k} + \frac{\Pi}{k} = 0 \quad \text{for} \quad i = n, a \tag{83}$$

である．よって (83) を満たす，第 2 期における無事故時の最適報酬額は

$$z_{in-}^N = \Pi \quad \text{for} \quad i = n, a \tag{84}$$

となる．したがってこのとき，(26′) から，第 2 期の均衡事故防止努力レベルは

$$e_{i-}^N = 0 \quad \text{for} \quad i = n, a \tag{85}$$

となる．以上から，このときの貸手と企業家の第2期の均衡期待効用は次のようになる．

$$V_{i-}^{N*} = \Pi - I \quad \text{for} \quad i = n, a, \tag{86}$$

$$U_{i-}^{N*} = 0 \quad \text{for} \quad i = n, a \tag{87}$$

【ケース 2_i $(z_{ia} \leq \Pi - D_i)$】　次に，貸手が $z_{ia} \leq \Pi - D_i$ と設定するケースを考える．このとき，第2期に事故が発生した場合の企業家の賠償資力は，損害額以上なので，事故が発生したとしても企業家は破産しない．(25′) を貸手の目的関数に代入すると問題 (P_i^N) は次のように表現できる．

$$\max_{(z_{in}, z_{ia})} \quad V_{i+}^N = -I + z_{ia} - \frac{(z_{ia} - z_{in})(z_{ia} - z_{in} + D_i)}{k}$$

$$\text{s.t.} \quad (80)$$

$$z_{ia} \leq \Pi - D_i \quad \text{for} \quad i = n, a \tag{88}$$

ここで z_{ia} は，貸手にとって可能な限り大きい方が望ましいので，第2期における事故発生時の最適報酬額は

$$z_{ia+}^N = \Pi - D_i \quad \text{for} \quad i = n, a \tag{89}$$

である．さらにこのとき，z_{in} についての最大化のための FOC は

$$\frac{\pi - z_{in}}{k} + \frac{\Pi - D_i - z_{in}}{k} = 0 \quad \text{for} \quad i = n, a \tag{90}$$

である．よって，(90) を満たす，第2期における無事故時の最適報酬額は

$$z_{in+}^N = \Pi - \frac{D_i}{2} \quad \text{for} \quad i = n, a$$

となる．

したがってこのとき，(25′) から，第2期の均衡事故防止努力レベルは

$$e_{i+}^N = \frac{D_i}{2k} \quad \text{for} \quad i = n, a \tag{91}$$

となり，ケース1よりも大きな均衡事故防止努力レベルが実現する．以上から，このときの貸手と企業家の第2期の均衡期待効用は次のようになる．

$$V_{i+}^{N*} = \Pi - I - D_i + \frac{D_i^2}{4k} \quad \text{for} \quad i = n, a, \tag{92}$$

$$U_{i+}^{N*} = \frac{D_i^2}{8k} \quad \text{for} \quad i = n, a \tag{93}$$

以上の分析より，第1期に実現した状態 $i = n, a$ を所与とし，第2期に企業家のプロジェクト活動が存続している場合の，第2期の貸手の均衡期待効用は，

$$V_{i-}^{N*} > V_{i+}^{N*} \quad \text{for} \quad i = n, a$$

である．

したがってこのとき，貸手は，$z_{ia} > \Pi - D_i$ となるように設定し，事故が発生した場合には企業家を破産させること（ケース 1_i）を選択する．第1期に実現した状態 i を所与とした第2期の最適報酬契約は

$$(z_{in}^N, z_{ia}^N) = (z_{in-}^N, z_{ia-}^N) = (\Pi, \Pi), \quad \text{for} \quad i = n, a \tag{94}$$

となる．また，この契約下において導かれる第2期の均衡事故防止努力レベルは $e_i^N = 0$ であり，第2期では必ず汚染事故が生じることになる．このとき，企業家は破産し，貸手は確実に効用 $\Pi - I$ を得る．

貸手は，以上のような第2期の報酬契約問題を考慮して，2期間を通じた問題 (P^N) を解くことになる．第1期の状態 i を所与とした第2期の最適報酬契約 (94) を考慮したとき，問題 (P^N) は $(P^{N\prime})$ として次のように表現できる．

$$
\begin{aligned}
\textbf{問題}\ (P^{N\prime}) \qquad & \max_{(z_n,\, z_a)} \quad V^N = -I + e_1 z_n + (1-e_1) z_a + \delta[\Pi - I] \\
& \text{s.t.} \quad (29), (33) \\
& \qquad e_1 = \frac{z_a - z - n + D_1}{k} \qquad (30'') \\
& \qquad U^N = \Pi - e_1 z_n - (1-e_1)(z_a + D_1) - \frac{k}{2} e_1^2 \geq 0 \qquad (31')
\end{aligned}
$$

(29) より，第1期に事故が発生したとしても企業家は第1期末に破産しない．(30″) を貸手の目的関数と企業家の参加制約に，それぞれ代入すると，問題 $(P^{N\prime})$ は次のように表現できる．

$$
\begin{aligned}
\textbf{問題}\ (P^{N\prime}) \qquad & \max_{(z_n,\, z_a)} \quad V^N = -I + z_a - \frac{(z_a - z_n)(z_a - z_n + D_1)}{k} + \delta[\Pi - I] \\
& \text{s.t.} \quad (29), (33) \\
& \qquad U^N = \Pi - D_1 - z_a + \frac{(z_a - z_n + D_1)^2}{2k} \geq 0 \qquad (31'')
\end{aligned}
$$

このとき z_a は，貸手にとって可能な限り大きい方が望ましいので，第1期における事故発生時の最適報酬額は

$$z_a^N = \Pi - D_1 \tag{95}$$

である．さらにこのとき，z_n についての FOC は

$$\frac{\Pi - z_n}{k} + \frac{\Pi - D_1 - z_n}{k} = 0, \tag{96}$$

である．よって (96) を満たす第1期における無事故時の最適報酬額は

$$z_n^N = \Pi - \frac{D_1}{2} \tag{97}$$

が導出できる．したがってこのときの均衡事故努力レベルは (30″) より，

$$e_1^N = \frac{D_1}{2k} \tag{98}$$

となり，第1期において企業家はファーストベストよりも過少な事故防止努力レベルを選択し，そして過大な確率で汚染事故が生じることになる．

以上から，第1期の事故発生時の報酬額を $z_a \leq \Pi - D_1$ と設定し，シャットダウンを行わないケースでは，貸手と企業家の2期間を通じた均衡期待効用は次のようになる．

$$V^{N*} = \Pi - I - D_1 + \frac{D_1^2}{4k} + \delta[\Pi - I], \tag{36}$$

$$U^{N*} = \frac{D_1^2}{8k} \tag{37}$$

またこのとき，貸手と企業家によって負担されることのない環境損害額は，$\delta\left[\frac{D_1}{2k}D_n+\left[1-\frac{D_1}{2k}\right]D_a\right]$ である．したがってこのときの期待社会厚生は

$$\begin{aligned}W^{N*}&=V^{N*}+U^{N*}-\delta\left[\frac{D_1}{2k}D_n+\left[1-\frac{D_1}{2k}\right]D_a\right]\\&=\Pi-I-D_1+\frac{3D_1^2}{8k}+\delta\left[\Pi-I-D_a+\frac{D_1[D_a-D_n]}{2k}\right]\end{aligned}\tag{38}$$

となる．■

補題2の証明

補題1の証明と同様の手順によって，証明できる．■

補題3の証明

第1期に実現した状態 i を所与として，第2期もプロジェクト活動が存続しているケースについて考える．このときの第2期の最適報酬契約 $(z_{in}^L,\ z_{ia}^L)$ は次の問題 (P_i^L) の解である．

$$\textbf{問題}\ (P_i^L)\qquad \max_{(z_{in},\,z_{ia})}\quad V_i^L=-I+e_iz_{in}+(1-e_i)(z_{ia}-D_i)$$
$$\text{s.t.}\quad (55'),\ (33)$$

(55′) を貸手の目的関数に代入すると問題 (P_i^L) は次のように表現できる．

$$\textbf{問題}\ (P_i^L)\qquad \max_{(z_{in},\,z_{ia})}\quad V_i^L=-I-D_i+z_{ia}-\frac{(z_{ia}-z_{in}-D_i)(z_{ia}-z_{in})}{k}$$
$$\text{s.t.}\quad (33)$$

ここで z_{ia} は貸手にとって可能な限り大きい方が望ましいので，第2期における事故発生時の最適報酬額は

$$z_{ia}^L=\Pi,\quad \text{for}\quad i=n,\,a\tag{99}$$

である．さらにこのとき，z_{in} についての最大化のための FOC は

$$\frac{\Pi-z_{in}}{k}+\frac{\Pi-D_i-z_{in}}{k}=0,\quad \text{for}\quad i=n,\,a\tag{100}$$

である．よって (100) を満たす，第2期における無事故時の最適報酬額は

$$z_{in}^L=\Pi-\frac{D_i}{2},\quad \text{for}\quad i=n,\,a\tag{101}$$

となる．したがってこのとき，(55′) から，第2期の均衡事故防止努力レベルは

$$e_i^L=\frac{D_i}{2k},\quad \text{for}\quad i=n,\,a\tag{102}$$

となる．以上から，このときの貸手と企業家の第2期の均衡期待効用は次のようになる．

$$V_i^{L*}=\Pi-I-D_i+\frac{D_i^2}{4k},\qquad \text{for}\quad i=n,\,a,\tag{103}$$

$$U_i^{L*}=\frac{D_i^2}{8k},\qquad \text{for}\quad i=n,\,a\tag{104}$$

第2期にプロジェクト活動を行う場合，貸手は以上のような第2期の報酬契約問題を考慮して，2期間を通じた問題 (P^L) を解くことになる．このとき，問題 (P^L) は $(P^{L\prime})$ として次のように表現できる．

問題 $(P^{L\prime})$ $\quad \max_{(z_n,\, z_a)} \quad V^L = -I + e_1 z_n + (1-e_1)(z_a - D_1) + \delta[e_1 V_n^{L*} + (1-e_1)V_a^{L*}]$

$$\text{s.t.} \quad (32)$$

$$e_1 = \frac{z_a - z_n - \frac{\delta}{8k}[D_a^2 - D_n^2]}{2k} \tag{58$'$}$$

$$U^L = \Pi - e_1 z_n - (1-e_1)z_a - \frac{k}{2}e_1^2 + \delta\left[e_1 U_n^{L*} + (1-e_1)U_a^{L*}\right] \geq 0 \tag{59$'$}$$

(58′) を貸手の目的関数と企業家の参加制約にそれぞれ代入すると，問題 $(P^{L\prime})$ は次のように表現できる．

問題 $(P^{L\prime})$ $\quad \max_{(z_n,\, z_a)} \quad V^L = -I - D_1 + z_a + \delta\left[\Pi - I - D_a + \frac{D_a^2}{4k}\right]$

$$- \frac{[z_a - z_n - \frac{\delta[D_a^2 - D_n^2]}{8k}][z_a - z_n - D_1 - \delta[D_a - D_n] + \frac{\delta[D_a^2 - D_n^2]}{4k}]}{k}$$

$$\text{s.t.} \quad (32)$$

$$U^L = \Pi - z_a + \frac{\delta D_a^2}{8k} + \frac{\left[z_a - z_n - \frac{\delta[D_a^2 - D_n^2]}{8k}\right]^2}{2k} \geq 0 \tag{58$''$}$$

このとき z_a は，貸手にとって可能な限り大きい方が望ましいので第1期における事故発生時の最適報酬額は

$$z_a^L = \Pi \tag{105}$$

である．さらにこのとき，z_n についての最大化のための FOC は

$$\frac{\Pi - D_1 - z_n - \delta[D_a - D_n] + \frac{\delta[D_a^2 - D_n^2]}{4k}}{k} + \frac{\Pi - z_n - \frac{\delta[D_a^2 - D_n^2]}{8k}}{k} = 0 \tag{106}$$

である．よって (106) を満たす，第1期における無事故時の最適報酬額は

$$z_n^L = \Pi - \frac{D_1}{2} - \frac{\delta[D_a - D_n]}{2} + \frac{\delta[D_a^2 - D_n^2]}{16k} \tag{107}$$

となる．したがってこのとき，58′ から，第1期の均衡事故防止努力レベルは

$$e_1^L = \frac{D_1 + \delta[D_a - D_n] - \frac{3\delta[D_a^2 - D_n^2]}{8k}}{2k} \tag{108}$$

となる．以上から，このときの貸手と企業家の2期間を通じた均衡期待効用は次のようになる．

$$V^{L*} = \Pi - I - D_1 + \delta\left[\Pi - I - D_a + \frac{D_a^2}{4k}\right] + \frac{\left[D_1 + \delta[D_a - D_n] - \frac{3\delta}{8k}[D_a^2 - D_n^2]\right]^2}{4k} \tag{62}$$

$$U^{L*} = \frac{\delta D_a^2 + \left[D_1 + \delta[D_a - D_n] - \frac{3\delta}{8k}[D_a^2 - D_n^2]\right]^2}{8k} \tag{63}$$

またこのとき，期待社会厚生は

$$\begin{aligned} W^{L*} &= V^{L*} + U^{L*} \\ &= \Pi - I - D_1 + \delta\left[\Pi - I - D_a + \frac{3D_a^2}{8k}\right] + \frac{3\left[D_1 + \delta[D_a - D_n] - \frac{3\delta}{8k}[D_a^2 - D_n^2]\right]^2}{8k} \end{aligned} \tag{64}$$

である．■

補題4の証明

補題3の証明と同様の手順によって，証明できる．■

参考文献

[1] Balkenborg, D. (2001) "How liable should a lender be? The Case of Judgment-Proof Firms and Environmental Risk: Comment," *American Economic Review*, 91(3):731-738.

[2] Chiappoi, P. A., I. Macho, P. Rey and B. Salanié (1994) "Repeated moral hazard: The role of memory, commitment, and the access to credit markets," *European Economic Review*, 38:1527-1553.

[3] Fundenberg, D., B. Holmstrom and P. Milgrom (1990) "Short-Term Contracts and Long-Term Agency Relationships," *Journal of Economic Theory,* 51:1-31.

[4] Hiriart, Y., D. Martimort and J. Pouyet (2004) "On the optimal use of ex ante regulation and ex post liability," *Economics Letters,* 84:231-235.

[5] Pitchford, R. (1995) "How liable should a lender be? The Case of Judgment-Proof Firms and Environmental Risk," *American Economic Review,* 85(5):1171-1186.

[6] Rogerson, W. P. (1985) "Repeated Moral Hazard," *Econometrica,* 53(1):69-76.

〔広島大学大学院国際協力研究科　COE研究員〕