

土壌汚染による塩漬け土地問題の発生メカニズムと抑制政策

Mechanism and Policy for Brownfield Problems: Real Option Approach*

織田澤 利守**・中谷 雄一郎***・保高 徹生****

By Toshimori OTAZAWA**・Yuichiro NAKAYA***・Tetsuo YASUTAKA****

1. 序論

近年、米国を中心に世界各地で土壌汚染による土地の塩漬け問題が報告されている。「土壌汚染の存在、またはその懸念から、本来その土地が有する潜在的な価値よりも著しく低い用途、または未利用となった土地」は、ブラウンフィールドと呼ばれる。ブラウンフィールドがもたらす社会的・経済的損失は決して小さくない。ブラウンフィールドを放置すると、郊外開発を促すことになり、自然破壊や都心の空洞化、スプロール現象につながる。また、周辺の不動産価値への影響、税収の減少、地域のイメージダウンなど様々な外部不経済を生む。日本のブラウンフィールド問題に対する対策は、2003年に土壌汚染対策法が施行されるなど、まだ始まったばかりである。今後、都市の持続的な開発を可能にしていくためにも、ブラウンフィールド問題は避けて通れない課題といえる。

ブラウンフィールドの発生には、複数の要因が影響すると考えられている。社団法人土壌環境センター会員企業を対象にしたアンケート結果によると、土壌汚染が原因で土地の有効な利活用が阻害されている事例の90%は、土壌汚染対策費が多額であることが主たる要因であるとされている。しかし、その背景には、将来の売却リスクが土壌汚染地の資産価値を大幅に押し下げ、そのため、たとえ汚染が軽微であっても、土地所有者が多額の費用をかけて汚染土壌を除去せざるを得ないというジレンマ的な状況がある。その結果として、土地の有効利用を図る再開のタイミングが遅れ、ブラウンフィールドの発生が助長される。本研究はこの点に着目し、市場薄の外部性に起因した売却リスクの観点からブラウンフィールドの発生メカニズムを解明する。具体的には、土壌汚染地の売買プロセスを考慮したリアル・オプションモデルを構築し、売却リスクがブラウンフィールド発生的重要原因であることを明らかにする。その上で、ブラウンフィールド発生を抑制する政策について検討を行う。

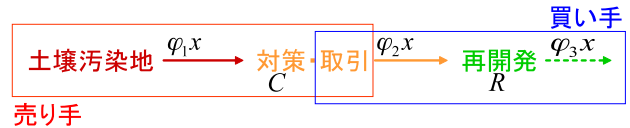


図-1 基本モデル概要図

なお、汚染された土地の利用・開発に関してリアルオプションを用いて分析した研究として Lenz & Tse (1995)¹⁾がある。しかし、この研究は、単一主体による汚染サイトの浄化と土地の再開発のタイミングに注目しており、ブラウンフィールドがなぜ、どのように発生するのかについて説明することができていない。

2. 基本モデル

基本モデルでは売買プロセスの観点からブラウンフィールドの発生メカニズムを分析する。

(1) モデル設定

a) モデル概要

市場には売り手と買い手の Firm が存在し、汚染された土地を取引する。売り手は取引の際、対策費用 C を支払い、タイミングを決定する。買い手はその後、最適なタイミングで再開発を行う (図-1 参照)。

b) キャッシュフロー

Firm が土地を利用する時の得られるキャッシュフローを、対策前・対策後・再開発後で $\varphi_1 x, \varphi_2 x, \varphi_3 x$ と表す。 x は以下の幾何ブラウン過程に従う。

$$\frac{dx}{x} = \mu dt + \sigma dz_x \quad (1)$$

c) 取引タイミング・土地資産価値

売り手は以下に示すように、取引後の土地資産価値を交渉力 ξ により配分したものから、対策費用を差し引いた分を最大にするよう、取引タイミング x_1 を決定する。なお、 $V_2(x)$ は対策・取引後の土地資産価値、 $V_3(x)$ は再開発後の土地資産価値、 ρ は割引率を表す。

$$\begin{cases} \tau_1^0 = \arg \max_{\tau_1} E_t \left[\int_t^{\tau_1} \varphi_1 x(s) \cdot e^{-\rho(s-t)} ds + e^{-\rho(\tau_1-t)} \{ V_2(x(\tau_1)) - C \} \right] \\ x_1 = x(\tau_1^0) \end{cases}$$

*キーワード：ブラウンフィールド、リアルオプション

**正員、東北大学大学院情報科学研究科

(E-mail:ota@plan.civil.tohoku.ac.jp)

***非会員、株式会社 日新

****会員、国際環境ソリューションズ株式会社

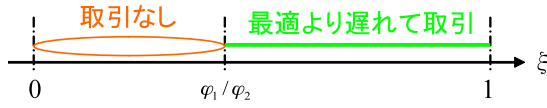


図-2 交渉力と取引タイミング*

$$V_2(x(t)) = \max_{\tau_2} E_t \left[\int_t^{\tau_2} \varphi_2 x(s) \cdot e^{-\rho(s-t)} ds + e^{-\rho(\tau_2-t)} \{V_3(x(\tau_2)) - R\} \right] \quad (2)$$

一方で、社会的に最適な取引タイミングは以下のようになる。

$$\begin{cases} \tau_1^* = \arg \max_{\tau_1} E_t \left[\int_t^{\tau_1} \varphi_1 x(s) \cdot e^{-\rho(s-t)} ds + e^{-\rho(\tau_1-t)} \{V_2(x(\tau_1)) - C\} \right] \\ x_1^* = x(\tau_1^*) \end{cases} \quad (3)$$

(2) 結果・考察

各取引タイミングは、以下のよう求められる。

$$x_1 = \frac{\beta}{\beta-1} \frac{\rho-\mu}{\xi\varphi_2 - \varphi_1} C \quad (4)$$

$$x_1^* = \frac{\beta}{\beta-1} \frac{\rho-\mu}{\varphi_2 - \varphi_1} C \quad (5)$$

取引が行われる条件は $\xi > \varphi_1 / \varphi_2$ 。また取引が行われる場合も、最適より遅れて取引することになる。このような状態が土地の低・未利用を長引かせる、つまりブラウフィールドの発生を引き起こすことになる (図-2)。

3. 応用モデル

応用モデルでは、基本モデルで取り扱った“対策”について注目し、「市場薄の外部性」に起因する売却リスクの観点から分析する。

(1) モデル設定

a) 基本モデルからの拡張・変更点

基本モデルからの拡張・変更点は以下の通りである。

- ・ 繰り返し売買が行われる。
- ・ “対策”を“残地型リスク管理措置”と“掘削除去”に分け、どちらかを選択できる。
- ・ 買い手には2種類のタイプが存在する。
- ・ 買い手は取引後ただちに再開発を行い、利用する。

b) モデル概要

Firm n は汚染された土地を所有しており、初めにこの土地に対して残地型リスク管理措置、掘削除去のどちらかを選択する。掘削除去を選択した場合は除去費用 C_{n+1} を負担し、Firm $n+1$ と取引を行う。Firm $n+1$ は直ちに再開発 (費用 R_{n+1}) を行い、その土地を利用する。Firm $n+1$

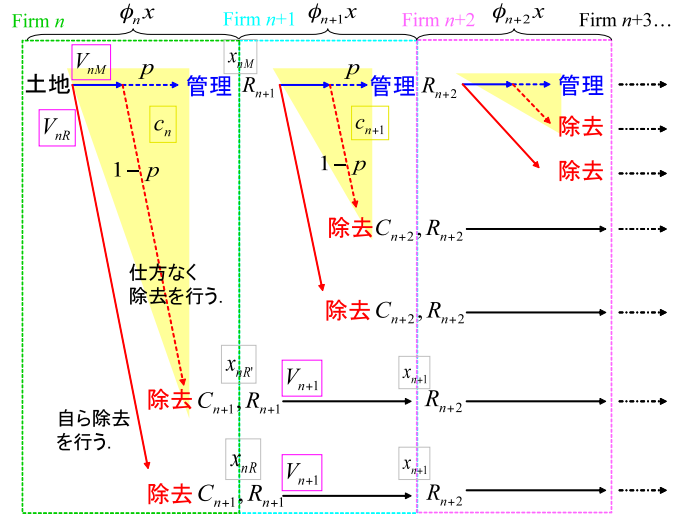


図-3 応用モデル概要図

以降の土地は完全に浄化されているので、何の対策を講ずることなく次の取引が行われる。

一方、Firm n が残地型リスク管理措置を選択した場合には、取引が行われるまで管理費用 c_n を連続的に払い続ける。そして取引相手が現れれば取引が行われる。

しかし、ここで買い手にはタイプ1「残地型リスク管理措置された土地でも取引する主体」、とタイプ2「掘削除去された土地でなければ取引しない主体」の2タイプが存在し、前者は確率 p でしか現れない。したがって前者のタイプが現れなかった場合は、その後、掘削除去を行い、取引をする。この場合も、Firm $n+1$ 以降は何の対策を講ずることなく次の取引が行われる。

残地型リスク管理措置が行われて取引がなされた場合、Firm $n+1$ は直ちに再開発を行い利用し、再び次の取引に際して残地型リスク管理措置、または掘削除去の選択をすることになる。この取引が無限に行われると想定し、売り手は対策・取引タイミングを決定する。

なお、本研究では短期、長期の2段階に分けて分析を行う。まず p を与件とした上で、買い手が各タイプを選択したときに得られる期待利潤を求める。(短期均衡) その上で、より期待利潤が高いタイプを買い手が選択した結果として p を内生的に決定する。(長期均衡)

c) 取引タイミング・土地資産価値

i) 既に“掘削除去”された土地を取引する場合

土地はきれいな状態なので、何の対策を講ずることなく取引が行われる。取引タイミングは、売り手・買い手双方にとって合理的な社会的最適タイミングとなる。

$$\begin{cases} \tau_n^* = \arg \max_{\tau_n} E_t \left[\int_t^{\tau_n} \phi_n x(s) \cdot e^{-\rho(s-t)} ds + e^{-\rho(\tau_n-t)} \{V_{n+1}^O(x(\tau_n)) - R_{n+1}\} \right] \\ x_n = x(\tau_n^*) \end{cases} \quad (6)$$

$$V_n^O(x(t)) = E_t \left[\int_t^{\tau_n} \phi_n x(s) \cdot e^{-\rho(s-t)} ds \right. \\ \left. + e^{-\rho(\tau_n-t)} \left\{ \xi \left(V_{n+1}^O(x(\tau_n)) - R_{n+1} \right) \right\} \right] \quad (7)$$

ii) 初めに“掘削除去”を選択した場合

売り手が除去費用を負担し、取引後の土地資産価値から開発費用を除いた分を交渉力により配分する。売り手はその期待値が最大になるようなタイミングで掘削除去をし、取引を行う。

$$\begin{cases} \tau_{nR}^* = \arg \max_{\tau_{nR}} E_t \left[\int_t^{\tau_{nR}} \phi_n x(s) \cdot e^{-\rho(s-t)} ds \right. \\ \left. + e^{-\rho(\tau_{nR}-t)} \left\{ \xi \left(V_{n+1}^O(x(\tau_{nR})) - R_{n+1} \right) - C_{n+1} \right\} \right] \\ x_{nR} = x(\tau_{nR}^*) \end{cases} \quad (8)$$

$$V_{nR}^O(x(t)) = E_t \left[\int_t^{\tau_{nR}} \phi_n x(s) \cdot e^{-\rho(s-t)} ds \right. \\ \left. + e^{-\rho(\tau_{nR}-t)} \left\{ \xi \left(V_{n+1}^O(x(\tau_{nR})) - R_{n+1} \right) - C_{n+1} \right\} \right] \quad (9)$$

iii) 初めに“残地型リスク管理措置”を選択した場合

タイプ1の買い手が現れたときの取引タイミングは、売り手・買い手双方にとって合理的な社会的最適タイミングとなる。

$$\begin{cases} \tau_{nM}^* = \arg \max_{\tau_{nM}} E_t \left[\int_t^{\tau_{nM}} \left(\phi_n x(s) - \frac{c_n}{\rho} \right) \cdot e^{-\rho(s-t)} ds \right. \\ \left. + e^{-\rho(\tau_{nM}-t)} \left\{ \xi \left(V_{n+1M}^O(x(\tau_{nM})) - R_{n+1} \right) \right\} \right] \\ x_{nM} = x(\tau_{nM}^*) \end{cases} \quad (10)$$

タイプ1の買い手が現れなければ、売り手は掘削除去を行う。売手は、取引後の土地資産価値から開発費用を除いた分を交渉力により配分した期待値が最大になるようなタイミングで掘削除去をし、取引を行う。

$$\begin{cases} \tau_{nR'}^* = \arg \max_{\tau_{nR'}} E_t \left[\int_t^{\tau_{nR'}} \left(\phi_n x(s) - \frac{c_n}{\rho} \right) \cdot e^{-\rho(s-t)} ds \right. \\ \left. + e^{-\rho(\tau_{nR'}-t)} \left\{ \xi \left(V_{n+1}^O(x(\tau_{nR'})) - R_{n+1} \right) \right\} \right] \\ x_{nR'} = x(\tau_{nR'}^*) \end{cases} \quad (11)$$

式(10),(11)で表される取引タイミングと、買い手の各タイプの出現確率から、売り手の土地資産価値は以下のように表される。

$$V_{nM}^O(x(t)) = E_t \left[p \left[\int_t^{\tau_{nM}} \left(\phi_n x(s) - \frac{c_n}{\rho} \right) \cdot e^{-\rho(s-t)} ds \right. \right. \\ \left. \left. + e^{-\rho(\tau_{nM}-t)} \left\{ \xi \left(V_{n+1M}^O(x(\tau_{nM})) - R_{n+1} \right) \right\} \right] \right. \\ \left. + (1-p) \left[\int_t^{\tau_{nR'}} \left(\phi_n x(s) - \frac{c_n}{\rho} \right) \cdot e^{-\rho(s-t)} ds \right. \right. \\ \left. \left. + e^{-\rho(\tau_{nR'}-t)} \left\{ \xi \left(V_{n+1}^O(x(\tau_{nR'})) - R_{n+1} \right) - C_{n+1} \right\} \right] \right] \quad (12)$$

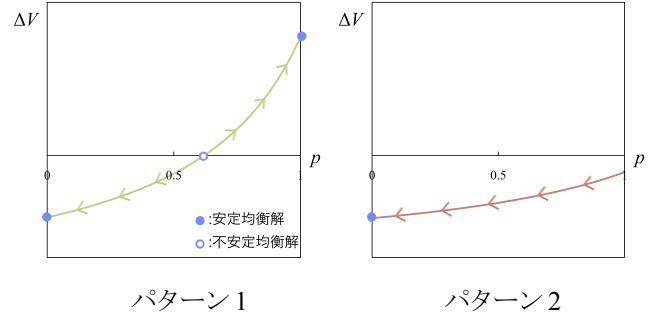


図4 各 Pattern における安定均衡と不安定均衡

(2) 結果

式(6), (8), (10), (11)から求められる取引タイミングの大小関係は以下のようになる。

$$x_n < x_{nM} < x_{nR'} < x_{nR} \quad (13)$$

(3) 長期均衡

Firm の選択行動（残地型リスク管理措置 or 掘削除去）について分析するために、それぞれにおける土地資産価値の差をとる。なお Firm が選択を行うのは取引後間もなくであるから、 $x = x_{n-1M}$ とする。したがって、土地資産価値の差は p のみの関数 $\Delta V(p)$ として考えられる。

ここで、再開発費用、除去費用、管理費用、土地から得られるキャッシュフローを

$$\begin{cases} R_{n+1} = \theta R_n = \theta^n R_1, & C_{n+1} = \delta R_{n+1}, & c_{n+1} = \gamma R_{n+1} \\ \phi_{n+1} = \lambda \phi_n = \lambda^n \phi_1 & (\lambda > 1, \gamma < \varepsilon, \theta > 1) \end{cases}$$

とおくと、

$$\Delta V(p) = -A + I \left(\frac{Gp + F'(1-p)}{1-Hp} - F \right) X \quad (14)$$

と表される。なお F, F', G, H, I, A, X は p によらない変数である。

ここでは Firm の行動を合理的選択理論に従うものとして考えている。市場における Firm のタイプ選択に関する調整過程は、残地型リスク管理措置選択した方が得られる期待利潤が大きい場合には p が増加し、逆に掘削除去を選択した方が得られる期待利潤が大きい場合には p は減少するように推移する。図4には、合理的選択行動から決まる2つの均衡パターンを示した。図より、パターン1の状態であり、かつ Firm の多くが残地型リスク管理措置を選択しない限り残地型リスク管理措置が安定的な均衡となることはない。なお、式(13)より掘削除去を選択した場合の取引タイミングは、残地型リスク管理措置を選択した場合の取引タイミングよりも遅い。つまり、土地の低・未利用が長引き、ブラウンフィールドの発生を助長していることがわかる。

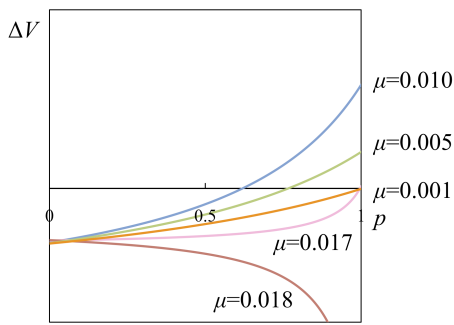


図-5 成長率と均衡パターン

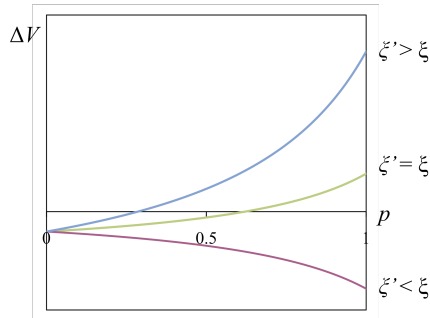


図-6 交渉力の大小関係と均衡パターン

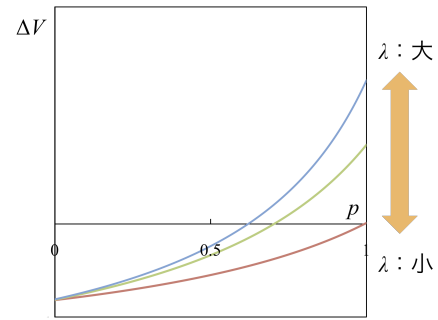


図-7 土地収益性の向上率と均衡パターン

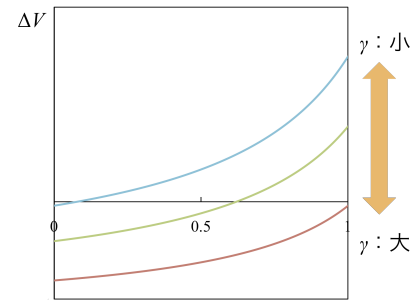


図-8 管理費用と均衡パターン

4. 数値計算

$\Delta V(p)$ に数値を入れ、マクロ的視点から μ , σ , ミクロ的視点から ξ , λ , γ に関する比較静学分析を行う。

a) 成長率・不確実性の影響

成長率 μ と均衡パターンの関係を図-5に示す。図より、 $\Delta V(p=1)$ は μ に対して非線形になることが分かる。この理由として、 μ が小さい場合にはオプション価値が小さくなり、残地型リスク管理を選択した場合の管理費用を賄うことができなくなるためと考えられる。一方、 μ が大きい場合には掘削除去をした方が効率的に開発が進むことから、相対的に残地型リスク管理措置の利潤が小さくなるためであると考えられる。なお、不確実性 σ についても、 μ とほぼ同様の結果が得られた。

b) 交渉力の影響

市場にはきれいな土地の取引市場と、汚染された土地の取引市場があり、各市場によって売り手の交渉力が異なる場合を考える。掘削除去を選択し、きれいな土地として取引する場合の売り手の交渉力を ξ 、残地型リスク管理措置を選択し、汚染の残る土地を取引する場合の交渉力を ξ' とする。これらの大小関係による変化をグラフに表すと図-6のようになる。図より、 $\xi < \xi'$ の場合には残地型リスク管理措置が均衡になることはない。

c) 土地収益性の向上率の影響

土地収益性の向上率 λ が均衡パターンに与える影響を図-7に示す。 λ が大きいほど残地型リスク管理措置が選択されやすいことが分かる。

(d) 管理費用の影響

管理費用 γ が均衡パターンに与える影響を図-8に示す。 γ が小さいほど残地型リスク管理措置が選択されやすいことが分かる。

5. ブラウンフィールド発生の抑制政策

以下では、分析結果に基づき、ブラウンフィールドの発生を抑制する政策に関する考察を行った。

- 汚染された土地の取引市場を整備する必要がある。4.b)より、汚染された土地の取引における交渉力が、少なくともきれいな土地の取引における交渉力と同等にする必要がある。
- 市場が整備された場合も、複数均衡が存在する。そこで $p=1$ の均衡が起る可能性を高めるために、 $\Delta V(p)$ のグラフをシフトさせる必要がある。1つ目の手段としては、管理費用を相対的に下げることである。具体的には、管理費用の補助、税優遇、管理の義務化、といったことが考えられる。2つ目の手段としては土地収益性の向上率を増加させることである。具体的には、管理を行う主体に対する税優遇が考えられる。

参考文献

- Lentz G. H., and Tse K. S. M. (1995). An option pricing approach to the valuation of real estate contaminated with hazardous materials. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, Vol.10, pp.121-144
- 保高徹生・牧野光琢・松田裕之 (2008)：日本におけるブラウンフィールド発生確率の推定。 *環境科学会誌*, 21(4), 291-306