

Title	被曝による被害vs.被曝を避けることによる被害：予防原則の最適停止理論的分析
Sub Title	Consideration of precautionary principle based on optimal stopping theory
Author	藤田, 康範(Fujita, Yasunori)
Publisher	慶應義塾経済学会
Publication year	2013
Jtitle	三田学会雑誌 (Keio journal of economics). Vol.106, No.3 (2013. 10) ,p.369(47)- 377(55)
JaLC DOI	10.14991/001.20131001-0047
Abstract	本研究では、被災地域の生産物価格および環境水準が確率的に変動するモデルを、最適停止理論に基づいて構築し、「重大な被害が起こる恐れがある場合は予防措置をとるべきである」という予防原則が被災地域に与える影響について分析する。 本研究での分析により、「仮設住宅を充実する」という意味での予防は無効であるが、「生産物価格や環境水準が悪化しない地域をつくる」という意味での予防は有効である、という結論が導かれる。 Based on the optimal stopping theory, this study constructs a model where product prices and environment standards in disaster-stricken areas fluctuate stochastically, analyzing the effects in disaster-stricken areas exerted by precautionary principles such as "in case of risk of serious damage, precautionary measures must be taken." The analysis in this study concludes that precautions in the sense of "enhancement of temporary housing" are not effective, whereas precautions such as "building areas where product prices and environment standards do not worsen" are effective.
Notes	論説
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-20131001-0047

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

被曝による被害 vs. 被曝を避けることによる被害—予防原則の最適停止理論的分析—
Consideration of Precautionary Principle Based on Optimal Stopping Theory

藤田 康範(Yasunori Fujita)

本研究では、被災地域の生産物価格および環境水準が確率的に変動するモデルを、最適停止理論に基づいて構築し、「重大な被害が起こる恐れがある場合は予防措置をとるべきである」という予防原則が被災地域に与える影響について分析する。

本研究での分析により、「仮設住宅を充実する」という意味での予防は無効であるが、「生産物価格や環境水準が悪化しない地域をつくる」という意味での予防は有効である、という結論が導かれる。

Abstract

Based on the optimal stopping theory, this study constructs a model where product prices and environment standards in disaster-stricken areas fluctuate stochastically, analyzing the effects in disaster-stricken areas exerted by precautionary principles such as “in case of risk of serious damage, precautionary measures must be taken.”

The analysis in this study concludes that precautions in the sense of “enhancement of temporary housing” are not effective, whereas precautions such as “building areas where product prices and environment standards do not worsen” are effective.

被曝による被害 vs. 被曝を避けることによる被害

——予防原則の最適停止理論的分析——

藤 田 康 範*

要 旨

本研究では、被災地域の生産物価格および環境水準が確率的に変動するモデルを、最適停止理論に基づいて構築し、「重大な被害が起こる恐れがある場合は予防措置をとるべきである」という予防原則が被災地域に与える影響について分析する。

本研究での分析により、「仮設住宅を充実する」という意味での予防は無効であるが、「生産物価格や環境水準が悪化しない地域をつくる」という意味での予防は有効である、という結論が導かれる。

キーワード

最適停止理論，予防原則，避難，幾何ブラウン過程，仮設住宅の収容人数

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災，およびそれに起因する福島第一原発事故から 3 年が過ぎようとしている現在，被害をめぐる様々な議論の中で，「放射線被曝を避けることによる被害」が注目を集めている。

福島原発事故による死者数を推計した Hoeve and Jacobson (2012) は，被災地からの避難によって死亡者数がかえって増加した可能性を指摘しており，小早川義貴氏は，2013 年 3 月に開催された「福島原発事故による長期影響地域の生活回復のためのダイアログセミナー」において，福島原発事故の問題の中心は，放射線被曝というよりもむしろ，避難生活における病気の発症であると述べている。

実際，9 万人の避難民のうちで，避難関連死は 1,400 人にも達しており⁽¹⁾，「放射線被曝を避ける」というこのような道徳的行為が新たな問題を引き起こしている事態を一ノ瀬 (2011) は「道徳的ディ

* 本論文の執筆の機会を下さった尾崎裕之先生（慶應義塾大学経済学部）に感謝いたします。

(1) 「福島原発事故による長期影響地域の生活回復のためのダイアログセミナー」における早川正也氏の報告による。

レンマ」と表現し、「原発事故によって癌死する恐れがある以上、因果関係が確証されていなくとも、まず避難すべし」という予防原則的発想に疑問を提起している⁽²⁾。

本研究は、一ノ瀬（2011）の問題意識を継承し、最適停止理論に基づいてモデルを構築し、予防原則が被災地域に与える影響を分析するものである。

最適停止理論とは、不確実性を確率過程によって記述し、ある行動の停止あるいは開始の最適時期を決定する動学理論であり、Samuelson（1965）や McDonald and Siegel（1986）を代表的研究として、経済学の幅広い分野へ応用されている⁽³⁾。

本研究は、最適停止理論を労働移動の分析に活用した Fujita（2009）や藤田（2011）を拡張するものであり、本研究での分析により、「避難のための仮設住宅を充実する」という意味での予防は有効ではなく、「災害に強い地域をつくる」という意味での予防が有効であるという結論が導かれる。

本研究の構成は以下の通りである。第2節では分析の枠組みを設定し、続く第3節では、被災地域の不確実性を確率過程として記述し、最適停止理論に基づいて被災地域から非被災地域への避難の最適時期を導出する。それらの分析に基づいて、第4節で予防原則が被災地域に与える影響を明らかにし、最後に第5節で本研究の結論を要約し展望を述べる。

2. 分析の枠組み

2 地域（被災地域、非被災地域）と財市場から構成され、0 期から無限の将来に向かって、将来価値が一定割合 ρ で減衰しつつ、時間が連続的に経過する経済を分析対象とする。家計の総数を一定値 L とし、また、生産要素を労働のみとする。

被災地域の環境水準は放射能漏れのために不確実で、しかも悪化の傾向にあるものとする。本研究ではこの状況を確率的な環境悪化と捉え、被災地域の環境水準 S が次の幾何ブラウン過程に従うものと定式化する。

$$\frac{dS}{S} = -\mu_S dt + \sigma_S dz. \quad (1)$$

ここで、 μ_S および σ_S は被災地域の環境水準の変化率の期待値および標準偏差を表す正の定数であり、 dz はウィンナー過程である。

他方、非被災地域の環境水準については、分析を簡素化するために1で一定と仮定する。

(2) ここでの予防原則は Morris（2000）の意味である。

(3) 未開発油田の価値とその開発タイミングを分析対象とした Paddock, Siegel and Smith（1988）、IT 投資を分析対象とした Farzin, Huisman and Kort（1998）、日本企業の輸出行動を分析対象とした Dixit（1989）、企業の雇用・解雇政策を分析対象とした Bentolila and Bertola（1990）、金融政策ルールと裁量的な政策運営間でのレジーム・スイッチングを分析対象とした Haubrich and Ritter（2000）、環境保護政策を分析対象とした Pindyck（2000）等が代表的研究であり、Fujita（2007, 2008）は、応用ミクロ経済理論と最適停止理論の接合を試みている。

被災地域における家計は生産者であると同時に消費者であり、生産物を市場において単価 q で販売し、その収入によって生活必需品を単価 p で購入するものとする。一般性を失うことなく各家計の労働供給を 1 とし、また、その労働供給による生産量を 1 とすると、1 単位の生産物を q 円で販売して、 p 円的生活必需品を購入するので、この場合の生活必需品の消費量は $\frac{q}{p}$ となる。

本研究における被災地域は原発事故に起因する風評被害にも晒されており、それ故に、生産物価格が不確実性に直面しつつ低下するものとする。本研究ではこの状況を、上述の環境水準の悪化と同様に、確率的な価格低下と捉え、次の幾何ブラウン過程に従うものと定式化する。

$$\frac{dq}{q} = -\mu_q dt + \sigma_q dz. \quad (2)$$

ここで、 μ_q および σ_q は被災地域の生産物価格の変化率の期待値および標準偏差を表す正の定数であり、 dz はウィナー過程である。本研究では、被災地域の環境水準の変動と生産物価格の変動の根源を同一と考え、被災地域の環境水準の変化率と生産物価格の変化率の相関を 1 とする。

このような状況において、各家計は、被災地域にとどまるか非被災地域に避難するかの選択を行うが、被災地域にとどまる場合の家計の効用 U_D については、生活必需品の消費量と環境水準に依存し、コブ＝ダグラス型の関数として

$$U_D = \left(\frac{q}{p}\right)^{1-h} S^h \quad (3)$$

と表されるものとする。ただし、 h は $0 < h < 1$ を満たす定数である。

他方、非被災地域に避難する場合には、労働者として 1 単位の労働を供給して w の賃金を受け取るものとし、したがって、この場合の生活必需品の消費量は $\frac{w}{p}$ となるものとする。

非被災地域には収容人数 L_T の仮設住宅が用意されているものとし、また、被災地域にとどまる家計の数を L_D とすると、非被災地域への避難者数は $L - L_D$ となり、したがって、非被災地域において仮設住宅に入居できる確率は $\frac{L_T}{L - L_D}$ となる。

非被災地域についての選好は家計によって様々であり、第 k 家計が仮設住宅に居住する場合には、 k をパラメータとして $\left(\frac{w}{p}\right)^{1-h} k$ の効用を獲得するものとする。

分析を簡素化するため、パラメータ k は $[0, L]$ の区間に一様に分布しているものと仮定すると、パラメータ k の家計が非被災地域に避難する場合には、パラメータの値が k 以上の家計、すなわち、非被災地域での効用が第 k 家計よりも高い家計も非被災地域に避難することとなるので、非被災地域への避難者総数は $L - k$ となる。以下では、ある家計について、その家計よりもパラメータの小さな家計は避難せず、その家計よりもパラメータの大きな家計が避難する場合に、その家計を限界的家計と呼ぶこととする。

分析の簡素化のために、仮設住宅へ入居できない場合の効用をゼロとすると、非被災地域に避難する場合の第 k 家計の期待効用 $U_N(k)$ は、仮設住宅に入居できる確率を仮設住宅に入居する場合の

効用 $\left(\frac{w}{p}\right)^{1-h}$ k にかけることにより,

$$U_N(k) = \left(\frac{\bar{w}}{p}\right)^{1-h} k \frac{L_T}{L - L_D} \quad (4)$$

となる。

3. 避難の最適時期の導出

本研究での各家計は被災地域での効用の確率過程を所与として避難の最適時期を決定するが、注意すべきこととして、本研究でのモデルは確率的であるので、最適時期の解は時期そのものではなく、被災地域での効用の臨界値によって表現される。すなわち、第 k 家計が求めるべき値は、 $U_D \leq U(k)^*$ の時に非被災地域へ移動するという臨界値 $U(k)^*$ である。

被災地域での効用水準の初期値 $U_D(0)$ については、被災地域の生産物価格および環境水準の初期値をそれぞれ、 $q(0)$ および $S(0)$ と表記すると、

$$U_D(0) = \left(\frac{q(0)}{p}\right)^{1-h} S(0)^h$$

となり、被災地域での効用 U_D の確率過程については、伊藤の公式を用いて (1) と (2) を組み合わせることにより、

$$\frac{dU_D}{U_D} = -\{h\mu_q + (1-h)\mu_S + \frac{1}{2}h(1-h)(\sigma_q^2 + \sigma_S^2) - \frac{1}{2}h(1-h)\sigma_q\sigma_S\}dt + \{h\sigma_q + (1-h)\sigma_S\}dz \quad (5)$$

と表される。

第 k 家計が最大化すべき値は、非被災地域に避難した場合に得られる期待効用から機会費用を差し引いた値の割引現在価値であり、また、本研究における機会費用は被災地域に居住する場合の効用であるので、第 k 家計の解くべき問題は

$$\text{Max } e^{-\rho t} \left\{ \left(\frac{w}{p}\right)^{1-h} k \frac{L_T}{L - L_D} - U_D \right\} \quad (6)$$

Subject to

$$\frac{dU_D}{U_D} = -\mu dt + \sigma dz;$$

$$\mu = h\mu_q + (1-h)\mu_S + \frac{1}{2}h(1-h)(\sigma_q^2 + \sigma_S^2) - \frac{1}{2}h(1-h)\sigma_q\sigma_S, \quad \sigma = h\sigma_q + (1-h)\sigma_S$$

$$U_D(0) = \left(\frac{q(0)}{p}\right)^{1-h} S(0)^h$$

と定式化される。なお、各家計の行動については、他の家計の避難行動を所与として意思決定すると仮定する。

この最適化問題の解 $U(k)^*$ は, Dixit and Pindyck (1994) 等が詳述するダイナミック・プログラミングによって, 以下のように求められる。

まず, (6) の解を目的関数, すなわち $e^{-\rho t} \left\{ \left(\frac{w}{p} \right)^{1-h} k \frac{L_T}{L-L_D} - U_D \right\}$ に代入した値を $V(k)$ とおくと, 各家計にとってのベルマン方程式が $\rho V dt = E(dV)$ となり, 伊藤の公式を用いて dV を展開すると

$$dV = \frac{\partial V}{\partial U_D} dU_D + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial U_D^2} (dU_D)^2 \quad (7)$$

となる。この式に U_D の確率過程を代入すると

$$E(dV) = \frac{\sigma U_D^2}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial U_D^2} dt$$

が得られ, さらにベルマン方程式を代入すると

$$\frac{\sigma U_D^2}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial U_D^2} - \rho V(U_D) = 0$$

が得られる。他方, 境界条件は

$$V(\infty) = 0 \quad (\text{被災地域での効用が } 0 \text{ ならば価値が } 0 \text{ である})$$

$$V(U(k)^*) = \left(\frac{w}{p} \right)^{1-h} k \frac{L_T}{L-L_D} - U(k)^* \quad (\text{価値同等条件 (Value matching condition)})$$

$$\left. \frac{dV}{dU_D} \right|_{U_D=U(k)^*} = 1 \quad (\text{円滑接着条件 (Smooth pasting condition)})$$

であるので, 解は以下の形となる

$$F(U_D) = AU_D^\alpha$$

ここで, A は定数であり, α は特性方程式 $\frac{1}{2}\sigma^2 x(x-1) - \mu x - \rho = 0$ を満たす数のうちの負の値, α_1 の絶対値として図 1 のように定まる。

境界条件より $\alpha > 1$ が保証されるので

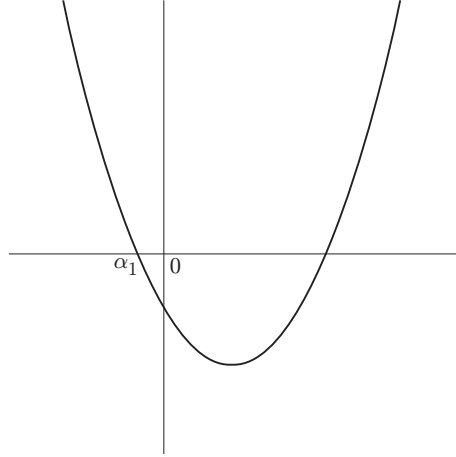
$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{\mu}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{\mu}{\sigma^2} + \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}} \quad (8)$$

となり, したがって, 第 k 家計の解として

$$U(k)^* = \frac{\alpha}{\alpha-1} \left(\frac{w}{p} \right)^{1-h} k \frac{L_T}{L-L_D}, \quad (9)$$

$$\text{ただし } \alpha = \frac{1}{2} + \frac{\mu}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{\mu}{\sigma^2} + \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}}$$

図1 α_1 の決定



が得られる。(9) 式は、被災地域での効用が $\frac{\alpha}{\alpha-1} \left(\frac{w}{p}\right)^{1-h} k \frac{L_T}{L-L_D}$ の水準に達すると第 k 家計が非被災地域に避難することを意味している。

上述の通り、パラメーター k の家計が非被災地域に避難する場合には、第 k 家計が被災地にとどまり、 $L-k$ の家計が非被災地域に避難する。ここで、第 k 家計を限界的家計とすると $L_D = k$ となるので、 $L_D = k$ を代入した上で (9) の右辺を (3) の右辺に等しいとおいて k について解く、すなわち、

$$\left(\frac{q}{p}\right)^{1-h} S^h = \frac{\alpha}{\alpha-1} \left(\frac{w}{p}\right)^{1-h} k \frac{L_T}{L-k}$$

を解くことにより、被災地域への避難者数の均衡値 k^* が

$$k^* = \frac{L}{\frac{\alpha}{\alpha-1} \left(\frac{w}{q}\right)^{1-h} \frac{L_T}{S^h} + 1} \quad (10)$$

の水準に定まり、体系が閉じる。

4. 予防原則が被災地域に与える影響

この時、非被災地域への避難者数 $L - k^*$ は

$$L - k^* = \frac{\frac{\alpha}{\alpha-1} \left(\frac{w}{q}\right)^{1-h} \frac{L_T}{S^h} L}{\frac{\alpha}{\alpha-1} \left(\frac{w}{q}\right)^{1-h} \frac{L_T}{S^h} + 1} \quad (11)$$

となるので、この値と k^* ((10) 式) を (9) 式に代入することにより、均衡における限界的家計の

図2 μ の増加が α_1 に与える影響

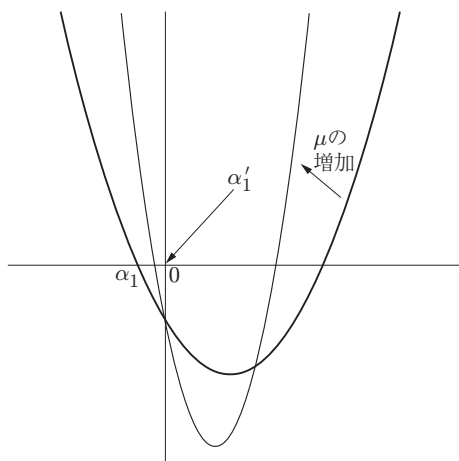
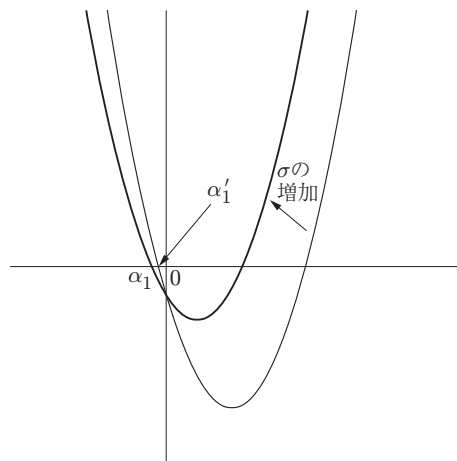


図3 σ の増加が α_1 に与える影響



効用が

$$U(k)^* = \frac{\alpha - 1}{\alpha} S^h \quad (12)$$

となる。

この値は仮設住宅の収容人数 L_T と無関係に定まっており、また、被災地域での効用はこの値に等しいので、

命題 1：

仮設住宅の収容人数 L_T が増えても被災地域の効用は変わらない。

が成立する。

L_T が増加すると、(10) より k^* が減少するが、(11) より $L - k^*$ が増加するので、 $k \frac{L_T}{L - k}$ は変わらず、それゆえに被災地域の効用も変わらない。このことを命題 1 は示している。

この命題 1 は「仮設住宅の収容人数を増加する」という意味での予防を行っても、被災地域にとっては効果がないことを示しているが、それでは、予防が常に無効であるのかどうかを考えるために、 μ や σ について比較静学を行うと、図 2 が示すように μ の増加に伴って α が低下し、図 3 が示すように σ の増加に伴って α が低下する。

α が低下すると、 $\frac{\alpha - 1}{\alpha}$ が低下するので、 μ が増加すると被災地域の効用が減少し、 σ が増加すると被災地域の効用が減少する、と言える。

以上を μ および σ の減少の影響としてまとめることにより、

命題 2 :

- (1) μ が減少すると被災地域の効用が増加する。
- (2) σ が減少すると被災地域の効用が増加する。

が成立する。

ここで、 μ の減少は、「被災地域の生産物価格の減少率や環境の悪化率」の減少を意味し、 σ の減少は、「被災地域の生産物価格や環境水準に関する不確実性」の減少を意味するので、この命題 2 は、生産物価格の減少や環境の悪化を防止し、また、それらに関する不確実性を払拭するという意味での予防であれば、有効であることを意味している。

5. おわりに

本研究では、被災地域の生産物価格および環境水準が確率的に変動するモデルを、最適停止理論に基づいて構築し、予防が被災地域に与える影響について分析した。

得られた結論は

「仮設住宅を充実する」という意味での予防は無効であるが、「生産物価格や環境水準が悪化しない地域をつくる」という意味での予防は有効である

である。

1980 年頃から環境保護や公衆衛生において予防原則の重要性が高まり、ハーグにおける北海に関する第 3 回会議（1990 年）、「環境と開発に関するリオ宣言」（1992 年）、ウィングスプレッド会議における声明（1998 年）等、様々な文書や声明にみられるようになっているが、その一方で、上述の一ノ瀬（2011）に代表されるように、この原則に否定的な意見も多く主張されている。すなわち、「重大な被害が起こる恐れがある場合は、因果関係が科学的に確証されていなくとも、予防措置をとるべきである」という考えを現実に適用できるかどうかは必ずしも自明ではないのである。

予防原則は正当化されるのか、されるとすればどのような場合であるのか——本研究は予防原則をめぐるこのような議論に新たな視点を提供することを試みた。

価格を内生化した場合、家計についての一様分布の仮定を緩めた場合等については今後の分析課題としたい。

（経済学部教授）

参 考 文 献

- 一ノ瀬正樹『確率と曖昧性の哲学』岩波書店, 2011 年
- 藤田康範「最適停止理論に基づくハリス＝トダロ・モデルの再構築の試み」『三田学会雑誌』103 巻 4 号, 2011, pp.95–106.
- Bentolila, S. and G. Bertola, Firing Costs and Labor Demand: How Bad is Eurosclerosis, *Review of Economic Studies*, 57(3), 1990, pp.381–402.
- Dixit, A., Hysteresis, Import Penetration, and Exchange Rate Pass Through, *Quarterly Journal of Economics*, 104(2), 1989, pp.205–228.
- Dixit, A. and R. Pindyck, *Investment under Uncertainty*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1994.
- Farzin, Y. H., K. J. M. Huisman and P. M. Kort, Optimal Timing of Technology Adoption, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 22, 1998, pp.779–799.
- Fujita, Y., Toward a New Modeling of International Economics: An Attempt to Reformulate an International Trade Model Based on Real Option Theory, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 383(2), 2007, pp.507–512.
- Fujita, Y., Competition and Welfare for a Stochastically Fluctuating Market with Irreversible Decisions, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387 (12), 2008, pp.2846–2850.
- Fujita, Y., Stochastic Wage Dynamics and Migration: An Extension of Harris and Todaro Model, *The Annual Report of Economic Science*, 47, 2009, pp.187–196.
- Haubrich, J. G. and J. A. Ritter, Dynamic Commitment and Incomplete Policy Rules, *Journal of Money, Credit and Banking*, 32(4), 2000, pp.766–784.
- Hoeve, J. E. T. and M. Z. Jacobson, Worldwide Health Effects of the Fukushima Daiichi Nuclear Accident, *Energy and Environmental Science*, 2012 (9), pp.8743–8757.
- Kort, P. M., Pollution Control and the Dynamics of the Firm: The Effects of Market-Based Instruments on Optimal Firm Investments, *Optimal Control Applications & Methods*, 17, 1996, pp.267–279.
- McDonald, R. and D. Siegel, The Value of Waiting to Invest, *The Quarterly Journal of Economics*, 101, 1986, pp.707–727.
- Morris, J., Defining the Precautionary Principle, in *Rethinking Risk and the Precautionary Principle*, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000, pp.1–21.
- Paddock J. L., D. R. Siegel and J. L. Smith, Option Valuation of Claims on Real Asset: The Case of Offshore Petroleum Leases, *Quarterly Journal of Economics*, 103, 1988, pp.479–508.
- Pindyck, R. S., Irreversibilities and the Timing of Environmental Policy, *Resource and Energy Economics*, 22, 2000, pp.233–259.
- Samuelson, P., Rational Theory of Warrant Pricing, *Industrial Management Review*, 1965, pp.13–39.