慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	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
Sub Title	An attempt to reformulate Harris=Todaro model based on optimal stopping theory
Author	藤田, 康範(Fujita, Yasunori)
Publisher	慶應義塾経済学会
Publication year	2011
Jtitle	三田学会雑誌 (Keio journal of economics). Vol.103, No.4 (2011. 1) ,p.663(95)- 674(106)
JaLC DOI	10.14991/001.20110101-0095
Abstract	本研究では, 都市賃金の確率的変動を逐次観測して向都離村の時期を決定する家計を対象とし, 確率的に都市賃金が変動するハリス=トダロ経済の性質を分析する。最適停止理論とハリス=トダロ・モデルを融合し, さらに, 複数の経済主体の連関を組み入れたモデルを構築することも目的の一つである。 確率的ハリス=トダロ経済においては都市賃金の不確実性の増加によって厚生が増加する, という結論が導出される。 This study sequentially monitors stochastic fluctuations on urban wages, targeting households deciding the timing of migration from small towns to large cities and analyzing the nature of the Harris–Todaro economy, where urban wages perform stochastic variation. One of the objectives is to, in addition to combining the optimal stopping theory and the Harris–Todaro model, build a model incorporating linkages of multiple economic agents. This study concludes that in a stochastic Harris–Todaro economy, welfare increases through an increase in uncertainty of urban wages.
Notes	論説
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-20110101-0095

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.

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

An Attempt to Reformulate Harris=Todaro Model Based on Optimal Stopping Theory

藤田 康範(Yasunori Fujita)

本研究では，都市賃金の確率的変動を逐次観測して向都離村の時期を決定する家計を対象とし，確率的に都市賃金が変動するハリス=トダロ経済の性質を分析する。最適停止理論とハリス=トダロ・モデルを融合し，さらに，複数の経済主体の連関を組み入れたモデルを構築することも目的の一つである。
確率的ハリス=トダロ経済においては都市賃金の不確実性の増加によって厚生が増加する，という結論が導出される。

Abstract
This study sequentially monitors stochastic fluctuations on urban wages, targeting households deciding the timing of migration from small towns to large cities and analyzing the nature of the Harris–Todaro economy, where urban wages perform stochastic variation. One of the objectives is to, in addition to combining the optimal stopping theory and the Harris–Todaro model, build a model incorporating linkages of multiple economic agents. This study concludes that in a stochastic Harris–Todaro economy, welfare increases through an increase in uncertainty of urban wages.

「三田学会雑誌」103 巻 4 号（2011 年 1 月）

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(1)

藤　田　康　範

要　　旨

本研究では，都市賃金の確率的変動を逐次観測して向都離村の時期を決定する家計を対象とし，確率的に都市賃金が変動するハリス＝トダロ経済の性質を分析する。最適停止理論とハリス＝トダロ・モデルを融合し，さらに，複数の経済主体の連関を組み入れたモデルを構築することも目的の一つである。

確率的ハリス＝トダロ経済においては都市賃金の不確実性の増加によって厚生が増加する，という結論が導出される。

キーワード

ハリス＝トダロ・モデル，最適停止理論，都市賃金，労働移動，待つことの価値

1.　問題の所在

都市農村間の期待賃金格差を中核的概念として Todaro（1969）および Harris and Todaro（1970）によって構築されたハリス＝トダロ・モデルは，当初捨象していた側面を組み入れることによって様々に進展している。Banergee（1983）は効用の差を労働移動の原因として導入し，Jones and O'Neill（1995）は都市のインフラストラクチャーを視野に入れたモデルを構築している。同様に，Brueckner and Zenou（1999）および Brueckner and Kim（2001）は土地市場に，Fukuyama and Naito（2007）は環境問題に注目することにより，それぞれ，ハリス＝トダロ・モデルの応用研究を前進させている。

（1）　本研究は赤林英夫先生（慶應義塾大学）および厚地淳先生（慶應義塾大学）との議論を出発点としている。塩澤修平先生（慶應義塾大学），原洋之介先生（政策研究大学院大学），山田太門先生（慶應義塾大学）からのコメントもまた本研究を大きく前進させるものであった。記して謝意を表したい。

本研究は，この系譜上に位置するものであり，都市賃金を一定とする当初のハリス＝トダロ・モデルの仮定を緩めることによって新たな知見の獲得を試みる。

ハリス＝トダロ・モデルの応用研究において都市賃金に注目した先行事例としては Leibenstein（1974）および Stiglitz（1974），Calvo（1978），Harris and Sabot（1982），Vishwanath（1991）が代表的であり，Leibenstein（1974）は効率賃金仮説に基づいて，Stiglitz（1974）および Calvo（1978）はそれぞれ労働者の訓練費用および労働組合に焦点を当て，また Harris and Sabot（1982）および Vishwanath（1991）は不確実性を考慮に入れ，それぞれ，ハリス＝トダロ・モデルにおける都市賃金の新たな定式化を試みている。

本研究では，まず，発展途上国の都市労働市場における不確実性の存在を指摘する Harris and Sabot（1982）の認識を継承して都市賃金の不確実性をモデルに組み入れる。そして，Vishwanath（1991）と同様に都市賃金の不確実性を確率過程によって記述し，その上で，最適停止理論に基づいて労働移動の最適時期を導出し，都市賃金が確率過程に従う下での家計の効用の性質を分析する。ハリス＝トダロ・モデルと最適停止理論とのこのような融合の試みが本研究の特色である。

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，経済分析への応用は Samuelson（1965）に始まり，その後 McDonald and Siegel（1986）が「待つことの価値（value of waiting）」が投資の延期を惹起することを明らかにして以来，幅広い分野へ応用されている。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・スウィ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）等が代表的研究として挙げられる。

最適停止理論の想定する状況が現実と多く整合するため最適停止理論の応用の射程は以上のように幅広いが，対象とする経済主体の数を 1，しかもその意思決定を 1 回のみとすることが通例であるので，最近では拡張の必要性も提唱されるようになっている。代田・馬場（2002）が述べているように，現実には，他企業の行動や意思決定が自企業の事業や投資価値に影響することが数多く，そこで，経済主体間の連関を考慮に入れることが希求されているのである。

この点を克服する研究としては Kort（1996）および Stimming（1999），Wirl（2004）が代表的である。Kort（1996）および Stimming（1999）は同一国内にある 2 企業の最適な投資戦略を明らかにし，Wirl（2004）は，温暖化ガス削減投資についての国際競争を分析しているが，しかしながら，それらの研究における意思決定も 1 回であり，競争相手も少数である。

そこで，本研究では，過去から無限の将来まで時が流れる確率的経済において多数の経済主体が継続的に意思決定することを考慮に入れたモデルを構築する[(2)]。そしてその上で，確率的ハリス＝ト

ダロ・モデルにおいて「待つことの価値」が厚生に与える影響を分析する。

確率的ハリス＝トダロ経済においては，都市賃金の不確実性の増加によって厚生が増加する，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 節では都市賃金の不確実性を確率過程として記述し，続く第 3 節において，最適停止理論に基づいて労働移動の最適値を導出する。それらの分析に基づいて，第 4 節で確率変動下の厚生の特徴を明らかにし，最後に第 5 節で本研究の結論を要約する。

2. 分析の枠組み

都市と農村の 2 部門から構成され，0 期から無限の将来に向かって連続的に時間が推移する動学的経済を考える。将来価値は時間の経過に従って減衰し，その割合は ρ であるものとする。

標準的ハリス＝トダロ・モデルと同様に，都市部門は工業製品を生産し，農村部門は農産品を生産するものとする。生産要素は労働のみとし，これらの 2 部門は家計の労働を投入して生産し，家計および外国市場へ生産物を販売するものとする。価格については，工業製品価格は外生的に P に定まっているものとし，農産品価格は 1 に基準化されているものとする。

労働市場についても，標準的ハリス＝トダロ・モデルと同様に，都市と農村で分断されていて各市場の賃金は互いに異なるものとする。すなわち，農村部門における賃金 w_A は農村部門の労働需給に従って定まるものとし，他方，都市部門における賃金 $\bar{w}$ は外生的に与えられているものとする。本研究ではさらに，都市賃金に不確実性があり，$\bar{w}$ が以下の確率過程に従うものと定式化する。

$$\frac{d\bar{w}}{\bar{w}} = \sigma dZ \tag{1}$$

ここで，σ および dZ は都市賃金の変動の分散およびウィンナー過程である。

労働者については，家計の総数を L で一定とし，また一般性を失うことなく，各家計の労働供給を 1 とする。農村に居住する労働者数を L_A ，都市労働者数および都市失業者数を L_M および L_U と表記し，また，標準的ハリス＝トダロ・モデルと同様に，ここでも，家計が労働を両部門に同時に供給することはないものとする。

農産品の生産については，L_A 単位の労働投入によって γL_A^a 単位の農産品が生産されるものと仮定する。ここで，γ は正の定数，a は $0< a <1$ を満たす定数である。農産品価格は 1 に基準化されているので，農産品部門の利潤 Π は $\Pi=\gamma L_A^a - w_A L_A$ となり，利潤最大化の一階条件より，農産品生産のための労働需要は，

$$L_A = \left(\frac{\gamma a}{w_A}\right)^{\frac{1}{1-a}} \tag{2}$$

（2） 同様の問題意識の研究としては，Fujita（2007, 2008）が挙げられる。

となる。

他方，工業品生産については，L_M 単位の労働投入によって εL_M^m 単位の工業品が生産されるものと仮定する。ここで，ε は正の定数，m は $0< m <1$ を満たす定数であり，この設定において，工業品部門の利潤 π は $\pi=P\varepsilon L_M^m - \bar{w}L_M$ となり，利潤最大化の一階条件より，工業品生産のための労働需要は，

$$L_M = \left(\frac{P\varepsilon m}{\bar{w}}\right)^{\frac{1}{1-m}} \tag{3}$$

となる。

本研究における家計は，農村に居住する時の効用のパラメター k によって特徴づけられるものとする。すなわち，第 k 家計が農村に居住して農産品と工業製品をそれぞれ D_A および D_M 単位消費する場合には，h を $0< h <1$ を満足する定数として，その効用が，

$$U_R(k) = k(D_A)^{1-h}(D_M)^h \tag{4}$$

となるものとする。分析を簡素化するため，パラメター k は]0,L] の区間に一様に分布しているものとしよう。

他方，都市に居住して，農産品と工業製品をそれぞれ D_A および D_M 単位消費する場合には，どの家計も，

$$U_U = (D_A)^{1-h}(D_M)^h \tag{5}$$

の効用を獲得するものとする。

予算制約については，農村に居住する場合の予算制約，都市に居住する場合の期待予算制約が，それぞれ，

$$D_A + pD_M = w_A \tag{6}$$

$$D_A + pD_M = \bar{w}\frac{L_M}{L_M + L_U} \tag{7}$$

となるので，これらの予算制約の下での効用最大化によって，工業製品価格と工業製品需要および農産品需要との関係が以下のように定まる。

$$p = \frac{h}{1-h}\frac{D_A}{D_M} \tag{8}$$

(4) および (5) における D_A および D_M を (6) − (8) を用いて消去することにより農村に居住する場合の第 k 家計の効用が農村賃金 w_A の関数として，

$$U_R(k) = \left(\frac{h}{p}\right)^h (1-h)^{1-h} w_A k \tag{9}$$

となり，都市に居住する場合の第 k 家計の期待効用が都市賃金 $\bar{w}$ および都市就業率 $\frac{L_M}{L_M+L_U}$ の関数として，

$$U_U = \left(\frac{h}{p}\right)^h (1-h)^{1-h} \bar{w} \frac{L_M}{L_M + L_U} \tag{10}$$

となる。

3. 労働移動の最適時期

以上の分析に基づいて本節では労働移動の最適時期を導出しよう。

本研究での各家計は都市での期待効用の確率過程を所与として労働移動の最適時期を決定する。ここで注意すべきことがらとして，本研究でのモデルは確率的であるので，最適時期の解は都市での効用の臨界値によって表現される。すなわち，第 k 家計の解くべき問題は，$U_U \geqq U(k)^*$ の時に都市へ移動するような $U(k)$*を求めることである。

各家計の意思決定は都市へ移動した時点で終了し，都市で働いた後に農村へ戻り，再び最初から意思決定を行うものとする。すなわち，各家計は農村に居住している時に，後述する（11）で表現される最適化問題を解いて向都離村し，都市で働いて農村へ戻った後に，再び（11）で表現される最適化問題を解いて向都離村の時期を決定するものとする。また，各家計は自分の行動が農村賃金や都市労働者数に影響を与えないと考えて意思決定するものとする。

（10）が示すように U_U は $\bar{w}$ の一次式であるので，（1）と伊藤の公式および（10）を組み合わせることにより，都市効用の確率過程は $\frac{dU_U}{U_U} = \sigma dz$ となる。初期値 $U_U(0)$ については，都市賃金の初期値を $\bar{w}(0)$ と表記すると，

$$U_U(0) = \left(\frac{h}{\bar{p}}\right)^h (1-h)^{1-h} \bar{w}(0) \frac{L_M(0)}{L_M(0) + L_U(0)}$$

となる。

各家計の解くべき問題は，都市での期待効用の確率的変動を所与として，都市に移住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現在割引価値の総和を最大化するように向都離村の時期を定めることであり，他方，本研究における各家計の機会費用は農村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

$$Max\ e^{-\rho T}\{U_U - \left(\frac{h}{p}\right)^h (1-h)^{1-h} w_A k\} \tag{11}$$

$$Subject\ to$$

$$\frac{dU_U}{U_U} = \sigma dZ$$

$$U_U(0) = \left(\frac{h}{\bar{p}}\right)^h (1-h)^{1-h} \bar{w}(0) \frac{L_M(0)}{L_M(0) + L_U(0)}$$

と定式化される。

Dixit and Pyndick（1994）等が詳述するダイナミック・プログラミングの解法によって，$U(k)$*は以下のように定まる。

まず，（11）の解を目的関数，すなわち $e^{-\rho T}\{U_U - \left(\frac{h}{p}\right)^h (1-h)^{1-h} w_A k\}$ に代入した値を $V(k)$ とおくと，各企業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，

$$dV = \frac{\partial V}{\partial U_U} dU_U + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 V}{\partial U_U^2}(dU_U)^2$$

となる。この式に U_U の確率過程を代入すると，

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

が得られ，さらにベルマン方程式を代入すると，

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

が得られる。他方，境界条件は，

$V(\infty) = 0$ （都市での効用が 0 ならば価値が 0 であることを示す）

$V(U(k)*) = U(k)* - \left(\frac{h}{p}\right)^h (1-h)^{1-h} w_A k$

（価値同等条件（Value matching condition））

$\left.\frac{dV}{dU_U}\right|_{U_U = U(k)*} = 1$ （円滑接着条件（Smooth pasting condition））

であるので，企業 k にとっての解は以下の形となる。

$$F(U_U) = A U_U^{\alpha}$$

ここで，A は定数であり，α は特性方程式 $\frac{1}{2}\sigma^2\alpha(\alpha-1) - \rho = 0$ を満たす数である。

境界条件より α>1 を満たすことが保証されるので，

$$\alpha = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{2\rho}{\sigma^2}} \tag{12}$$

が得られ，したがって，

$$U(k)* = \frac{\alpha}{\alpha - 1}\left(\frac{h}{p}\right)^h (1-h)^{1-h} w_A k \tag{13}$$

ただし$\alpha = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{2\rho}{\sigma^2}}$

が得られる。この式は，都市での期待効用が $\frac{\alpha}{\alpha-1}\left(\frac{h}{p}\right)^h (1-h)^{1-h} w_A k$ の水準に達すると第 k 家計が向都離村することを意味している。

ここで，ある家計について，その家計よりもパラメターの大きな家計は向都離村せず，その家計よりもパラメターの小さな家計は向都離村する場合に，その家計を限界的家計と呼ぶこととし，さらに，第 k 家計を限界的家計とすると，(13) の右辺を (10) の右辺に等しいとおいて k について解くことにより，都市賃金が $\bar{w}$，農村賃金が w_A，都市就業率が $\frac{L_M}{L_M+L_U}$ の時の都市労働者数 $k*$ が，

$$k^* = \frac{\bar{w}}{w_A}\frac{L_M}{L_M+L_U}\frac{\alpha-1}{\alpha} \tag{14}$$

の水準に定まる。

他方，定義により $k* \equiv L_M + L_U$ が成り立つので，この $k* \equiv L_M + L_U$ と (14) を組み合わせることにより，都市への労働供給が，

$$L_M + L_U = \left\{\frac{\bar{w}}{w_A}\frac{\alpha-1}{\alpha}\left(\frac{P\varepsilon m}{\bar{w}}\right)^{\frac{1}{1-m}}\right\}^{\frac{1}{2}} \tag{15}$$

の水準に定まる。

都市労働需要は，$L - L_A$ における L_A に (3) を代入して計算することにより，$L - (\frac{w_A}{\gamma a})^{\frac{1}{\alpha-1}}$ の水準に定まるので，農村賃金 w_A を定める需給均衡条件が，

$$L - \left(\frac{\gamma a}{w_A}\right)^{\frac{1}{1-a}} = \left\{\frac{\bar{w}}{w_A}\frac{\alpha-1}{\alpha}\left(\frac{P\varepsilon m}{\bar{w}}\right)^{\frac{1}{1-m}}\right\}^{\frac{1}{2}} \tag{16}$$

となる。この式を解くことにより農村賃金の均衡値 w_A*が定まり，ここにおいて体系が閉じる。

後の分析のために (16) を，

$$\bar{w} = \left[\frac{1}{\frac{\alpha}{\alpha-1}(\frac{1}{P\varepsilon m})^{\frac{1}{1-m}}\{L - (\frac{\gamma a}{w_A})^{\frac{1}{1-a}}\}^2 w_A}\right]^{\frac{1-m}{m}} \tag{17}$$

と変形し，右辺を F とおくと，農村賃金の均衡値 w_A*は図 1 のように定まる。

図 1　都市賃金の決定

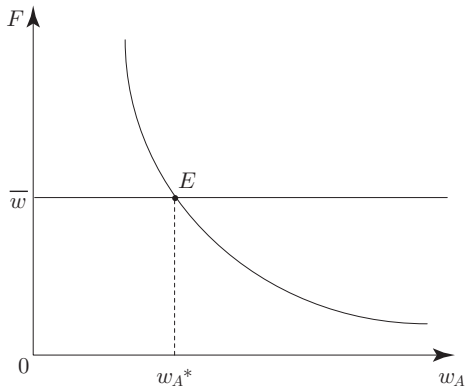
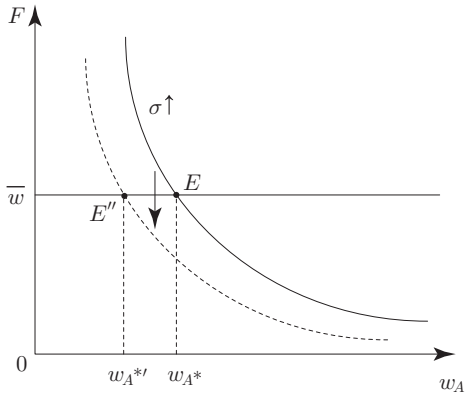


図２　σ の増加の影響



本研究の主要課題は「待つことの価値」が厚生に与える影響の分析である。そのための準備として，まず σ の増加が均衡地方賃金に与える影響について考えると，(12) が示すように σ の増加に伴って α が低下し，その結果，$\frac{\alpha}{\alpha-1}$ が増加するので，図 2 が示すように F 曲線が下方にシフトし，したがって，$\frac{dw_A}{d\sigma} < 0$ が得られる。よって，

補助定理 1：都市賃金の不確実性の増加に伴って農村賃金が低下する。

という補助定理が得られる。

本研究のモデルにおいては，不確実性が高まると「待つことの価値」が上昇して農村にとどまる人数が増加し，それゆえに，均衡農村賃金が低下する。このことをこの補助定理は明らかにしている。

実際，補助定理 1 と (2) を組み合わせることにより $\frac{dL_A}{d\sigma} > 0$ が得られ，都市賃金の不確実性の増加に伴って農村労働者数が増加することが理解される。一方，(3) が示すように，都市就労者数は σ から独立であるので，不確実性が増加しても都市就労者数は不変である。

以上より，都市賃金の不確実性の増加に伴って都市失業者数が減少することが分かり，したがって，

補助定理 2：都市賃金の不確実性の増加に伴って都市就業率 $\frac{L_M}{L_M+L_U}$ が増加する。

という補助定理が得られる。

4.　確率的ハリス＝トダロ経済における厚生

ここにおいて，確率的に変動するハリス＝トダロ経済の特徴を明らかにすることが可能となる。特に，「待つことの価値」が厚生に与える影響を明らかにすることが分析の目的である。

まず，都市における期待効用は，

$$U_U = \left(\frac{h}{p}\right)^h (1-h)^{1-h} \bar{w} \frac{L_M}{L_M + L_U}$$

であり，また，補助定理 2 より都市賃金の不確実性の増加に伴って都市就業率が増加することが示されているので，都市賃金の不確実性の増加に伴って都市における期待効用が増加すると言える。

本研究のモデルにおいては，標準的ハリス＝トダロ・モデルと同様に，全ての家計について，都市における期待効用と農村における効用が等しくなっているので，

補助定理 3：都市賃金の不確実性の増加に伴って各家計の期待効用が増加する。

という補助定理が導かれる。

本研究のモデルにおいては，不確実性の高まりに伴う「待つことの価値」の上昇によって農村にとどまる人数が増加し，それゆえに，都市失業率が減少して都市での期待賃金が増加する。そしてその結果，各家計の期待効用が増加する――このことをこの補助定理は明らかにしている。

他方，均衡における農産品部門の利潤は，

$$\Pi = \gamma(1-a)\left(\frac{\gamma a}{w_A}\right)^{\frac{1}{1-a}}$$

であるので，σ の増加に伴う農村賃金の低下によって，農産品部門の利潤は増加することが分かる。他方，工業品部門の利潤は，

$$\pi = P\varepsilon(1-m)\left(\frac{P\varepsilon m}{\bar{w}}\right)^{\frac{m}{1-m}}$$

であるので，σ が増加しても工業品部門の利潤は不変である。

以上をまとめると，

補助定理 4：都市賃金の不確実性の増加に伴って農産品部門の利潤は増加し，工業品部門の利潤は不変である。

となる。

本研究における厚生は各家計の期待効用と農産品部門および工業品部門の利潤の和であるので，補助定理 3 および補助定理 4 より，

命題：都市賃金の不確実性の増加に伴って厚生が増加する。

が得られる。

5. 結び

本研究では，都市賃金の確率的変動を逐次観測して向都離村の時期を決定する家計を対象とし，確率的に都市賃金が変動するハリス＝トダロ経済の性質を分析した。最適停止理論とハリス＝トダロ・モデルを融合し，さらに，複数の経済主体の連関を組み入れたモデルを構築することも目的の一つであった。

得られた結論は，

確率的ハリス＝トダロ経済においては，都市賃金の不確実性の増加によって厚生が増加する。

である。

不確実性は市場の失敗の要因の一つに数えられており，完全競争市場においては不確実性の増加が厚生の減少要因となることが広く知られているが，本研究での分析により，確率的ハリス＝トダロ経済においては不確実性の増加が厚生を損なわないことが示された。

労働以外の生産要素をモデル化した場合，一様分布の仮定を緩めた場合，他の確率過程によって不確実性を記述し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

代田豊一郎・馬場直彦「リアル・オプションの基本原理と経済学への応用について――不確実性下の意志決定モデル」日本銀行金融研究所『金融研究』21（2），2002，pp.213–249.

Banergee, B., The Role of the Informal Sector in the Migration Process: A Test of Probabilistic Migration Models and Labour Market Segmentation for India, *Oxford Economic Papers*, New Series, Vol.35(3), 1983, pp.399–422.

Bentolila, S. and G. Bertola, Firing Costs and Labor Demand: How Bad is Eurosclerosis, *Review of Economic Studies*, 57(3), 1990, pp.381–402.

Brueckner, J. K. and H. A. Kim, Land Markets in the Harris-Todaro Model: A New Factor Equilibrating Rural-Urban Migration, *Journal of Regional Science*, 41, 2001, pp.507–520.

Brueckner, J. K. and Y. Zenou, Harris-Todaro Models with a Land Market, *Regional Science and Urban Economics*, 29, 1999, pp.317–339.

Caballero, R. and R. Pindyck, Uncertainty, Investment, and Industry Evolution, *International Economic Review*, Vol.37(3), 1996, pp.641–662.

Calvo, G. A., Urban Unemployment and Wage Determination in LDC's: Trade Unions in the Harris-Todaro Model, *International Economic Review*, Vol.19(1), 1978, pp.65–81.

Dixit, A. K., Hysteresis, Import Penetration, and Exchange Rate Pass Through, *Quarterly Journal of Economics*, 104, 1989, pp.205–228.

Dixit, A. and R. Pindyck, *Investment Under Uncertainty*, Princeton University Press, Princeton,

New Jersey, 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.

Fukuyama, H. and T. Naito, Unemployment, Trans-boundary Pollution and Environmental Policy in a Dualistic Economy, *Review of Urban and Regional Development Studies*, 19(2), 2007, pp.154–172.

Harris, J. and R. Sabot, Urban Unemployment in Developing Countries: Towards a More General Search Model, in R. Sabot ed., *Essays on Migration and Thee Labor Market in Developing Countries*, Westview Press: Boulder, Colorado, 1982.

Harris, J. and M. P. Todaro, Migration and Unemployment: A Two-Sector Analysis, *American Economic Review*, 60, 1970, pp.126–142.

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.

Jones, D. and R. O'Neill, Development Policies, Urban Unemployment and Deforestation: The Role of Infrastructure and Tax in a Two-Sector Model, *Journal of Regional Science*, 35(1), 1995, pp.135–153.

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.

Leahy, J., Investment in Competitive Equilibrium: The Optimality of Myopic Behavior, *Quarterly Journal of Economics*, 108(4), 1993, pp.1105–1133.

Leibenstein, H., Efficiency Wages, X-Efficiency, and Urban Unemployment, in Sellekaerts, W. ed., *Economic Development and Planning*, Essays in Honour of Jan Tinbergen, Macmillan, London, 1974.

McDonald, R. and D. Siegel, The Value of Waiting to Invest, *Quarterly Journal of Economics*, 101, 1986, pp.707– 727.

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.

Stiglitz, J., Alternative Theories of Wage Determination and Unemployment in LDC's: The Labor Turnover Model, *Quarterly Journal of Economics*, 88(2), 1974, pp.194–227.

Stimming, M., Capital Accumulation Subject to Pollution Control: Open-loop versus Feedback Investment Strategies, *Annals of Operations Research*, 88, 1999, pp.309–336.

Todaro M. A., Model of Labour Migration and Urban Unemployment in Less Development Countries, *American Economic Review*, 59, 1969, pp.138–148.

Vishwanath, T., Information Flow, Job Search, and Migration, *Journal of Development Eco-*

nomics 36(2), 1991, pp.313–335.
Wirl, F., International Greenhouse Gas Emissions when Global Warming is a Stochastic Process, *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 20, 2004, pp.95–114.