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

Title	環境政策, 産業政策, および不完全な集積効果
Sub Title	Environmental policy, industrial policy, and imperfect agglomeration effects
Author	伊ヶ崎, 大理(Ikazaki, Daisuke) 内藤, 徹(Naito, Toru)
Publisher	慶應義塾経済学会
Publication year	2007
Jtitle	三田学会雑誌 (Keio journal of economics). Vol.100, No.3 (2007. 10) ,p.671(89)- 689(107)
JaLC DOI	10.14991/001.20071001-0089
Abstract	本稿では, 比較的単純な空間経済学の一般均衡モデルに, 集積, 技術の転換, 環境汚染の問題を組み入れ議論する。まず, 人口の集積によって, 最新型技術への転換が生じること, そのような技術の転換によって, 必要とされる環境政策が変化することを示す。その後, 社会的最適状態を達成するための政府の産業政策, 2地域モデルに分析を拡張した場合の地域間の人口移動や均衡の安定性についても明らかにする。 This paper presents an examination of a simple general equilibrium model of spatial economics that considers issues related to agglomeration, technological change, and environmental pollution. Results show that agglomeration causes technological conversion to the modern technology, which alters the necessary environmental policies. Industrial policies that attain the social optimum are also derived. Furthermore, we extend our model to a two-region model and consider interregional migration and the stability of equilibrium.
Notes	小特集 : 環境経済学の新展開(上)
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-20071001-0089

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.

環境政策，産業政策，および不完全な集積効果
Environmental Policy, Industrial Policy, and Imperfect Agglomeration Effects

伊ヶ崎 大理(Daisuke Ikazaki)
内藤 徹(Tohru Naito)

本稿では，比較的単純な空間経済学の一般均衡モデルに，集積，技術の転換，環境汚染の問題を組み入れ議論する。まず，人口の集積によって，最新型技術への転換が生じること，そのような技術の転換によって，必要とされる環境政策が変化することを示す。その後，社会的最適状態を達成するための政府の産業政策，2 地域モデルに分析を拡張した場合の地域間の人口移動や均衡の安定性についても明らかにする。

Abstract
This paper presents an examination of a simple general equilibrium model of spatial economics that considers issues related to agglomeration, technological change, and environmental pollution. Results show that agglomeration causes technological conversion to the modern technology, which alters the necessary environmental policies. Industrial policies that attain the social optimum are also derived. Furthermore, we extend our model to a two-region model and consider interregional migration and the stability of equilibrium.

「三田学会雑誌」100 巻 3 号（2007 年 10 月）

環境政策，産業政策，および不完全な集積効果

伊ヶ崎　大　理
内　藤　　徹

要　　旨

本稿では，比較的単純な空間経済学の一般均衡モデルに，集積，技術の転換，環境汚染の問題を組み入れ議論する。まず，人口の集積によって，最新型技術への転換が生じること，そのような技術の転換によって，必要とされる環境政策が変化することを示す。その後，社会的最適状態を達成するための政府の産業政策，2 地域モデルに分析を拡張した場合の地域間の人口移動や均衡の安定性についても明らかにする。

キーワード

集積，技術の転換，環境政策，産業政策，人口移動

1.　イントロダクション

多くの産業や人口は，種々の経済活動の結果，一部の特定の都市に集積する傾向がある。国際経済や国際貿易に関する多くの研究は，地域間，あるいは国家間の財の動きを取り扱っているが，空間的要素については，その重要性にもかかわらず，十分な分析がなされてこなかった。

Dixit and Stiglitz（1977）が独占的競争モデルを導入して以来，多くの研究が，独占的競争の設定を国際経済学や都市経済学の分析に取り入れてきた。独占的競争や収穫逓増の設定は，都市や地域における人口や企業の集積の説明にも貢献してきた。これらのなかで，初期のパイオニア的研究の 1 つに，財の輸送費と種々の差別化された財が集積に及ぼす影響について述べた Krugman（1991）がある。この他に，Abdel-Rahman and Fujita（1990）は，マーシャル的外部性が，地域間の人口分布に及ぼす影響を論じた。Fujita et al.（1995）は，これらの核－周辺モデル（core-periphery model）やそれを応用した様々なモデルを構築し，差別化された財と輸送費を伴うモデルにおいて，内生的な集積メカニズムを説明した。人口の集積によって，技術の進歩や労働の分業が生じ，それによって，実質賃金が上昇し，結果として効用水準も上昇し，そのことがその地域の人口の集積をさらに進めるということを主張した。

これに対して，工業化についても多くの議論がなされてきた。その中の著名な研究の 1 つに，

Murphy et al.（1989）がある。Murphy et al.（1989）は，工業化を実現するためには公的部門によるビッグプッシュが必要であると主張した。Bjorvatn（2000）は，収穫逓増をもたらすインフラストラクチャーを導入し，そのようなインフラが工業化に及ぼす影響について論じた。Yamamoto（2005）は，地域の集積によって，生産性の低い技術から生産性の高い技術への転換が生じるような状況を核－周辺モデルに導入し，都市化，工業化や集積について論じた。

本稿では，Yamamoto（2005）のモデルを，環境問題を含むように拡張する。このような拡張は，Yamamoto（2005）では論じられていない。財の製造部門において使用される技術の選択に関する議論においては，Yamamoto（2005）における議論を踏襲する。すなわち，企業によって選択される技術は，集積の程度によって異なってくるのである。具体的には，人口の集積が十分に生じると，収穫逓増型の最新型技術が選択されることになる。本稿では，環境の要素もモデルに導入されているため，政府の環境政策についても論じる。

Ikazaki and Naito（2007）は，集積によって生じる技術の転換が，その地域の環境水準に及ぼす影響や政府の環境政策を考察した。人口が少ないような地域では，工業財部門は，伝統的技術を用いて生産活動を行う。その結果，均衡における 1 人当たりの生産量は労働に関して収穫逓減となるため，人口の増加とともに，その地域における 1 人当たりの所得水準は減少することになる。政府は，そのような収穫逓減を緩和するために，比較的緩い環境に対する規制政策を採用することになる。他方，人口が多い地域では，工業財部門は，最新型の技術を用いて生産活動を行うため，大都市部においては，人口の増加とともに，その地域内における 1 人当たりの所得水準は増加することになる。このとき政府は，より厳格な環境政策を採用する余地が生まれることになる。

このように，集積によって生じた生産技術の変化は，政府にとって必要とされる環境政策を変える。また，適切なパラメータ制約の範囲内では，人口水準と環境汚染の水準が逆 U 字の関係になることも示された。この逆 U 字の関係はいわゆる環境クズネッツ曲線の関係と類似している。

環境クズネッツ曲線とは，1 人当たりの所得と環境汚染水準との逆 U 字の関係であり，World Bank（1992）以降，多くの環境経済学者によって議論されてきた。この関係がみたされるのであれば，長期的に経済成長が持続可能であるということと深くかかわっているためである。John and Pacchenino（1994），Stokey（1998），Ikazaki（2006）などは，理論的観点から環境クズネッツ曲線やそれが成立する条件について議論している。これに対して，Seldon and Song（1994），Grossman and Krueger（1995），伊ヶ崎（2002）などは，実証的な観点から環境クズネッツ曲線を分析している。

Ikazaki and Naito（2007）は，環境汚染の内部化については議論したが，他の部門から生じる外部性については分析をしなかった。彼らのモデルは，Dixit-Stiglitz 型の定式化に基づいた収穫逓増型の技術を，最新型の技術として想定していた。収穫逓増型の設定を前提とすれば，市場経済における帰結は，社会的に最適なそれと比較して乖離することになるが，Ikazaki and Naito（2007）では，このようなマーシャルの外部性の内部化に関する議論や内部化政策が地域間の人口移動に及ぼ

す影響について，議論をしてこなかった。本稿では，Ikazaki and Naito（2007）を拡張し，環境汚染の外部性を内部化する環境政策と，収穫逓増によって生じる外部性を内部化する産業政策の 2 つの政策を同時に取り扱う。そして，各地域が社会的に最適な政策を行った場合，地域間の人口分布がどのように異なってくるのかについても議論する。

本稿は，以下のように構成されている。まず第 2 節では，1 地域 2 部門の基本モデルを導入する。第 3 節では，集積がもたらす技術の転換とそのような技術の転換を前提とした場合の環境政策について論じる。第 4 節では，社会的最適状態における厚生について議論し，最適な産業政策を導出する。第 5 節では，2 地域モデルへと拡張したうえで，地域間の人口移動について議論する。第 6 節では結論を述べ，本稿のまとめを行う。

2. モデルの設定

本稿では，2 種類の最終財が存在するとする。それらは，工業財（第 1 財）と農業財（第 2 財）である。両財の市場は完全競争市場であり，多くの小企業が同一の技術の下で生産活動を行っている。

工業財の生産の際には，汚染が排出されるものとする。工業財の生産関数を以下のように設定する。

$$Y_1 = AM^{\alpha}D^{1-\alpha}. \tag{1}$$

ただし，Y_1, M, D, A はそれぞれ，第 1 財の生産量，中間財の投入量，汚染の排出量，工業財部門の生産性である。 また，パラメータ α は，$0 < \alpha < 1$ という関係をみたしている。

第 1 財の生産関数では，汚染が生産要素のように扱われていることに注意しよう[(1)]。また，汚染は中間財 M と代替的である。すなわち，同量の工業財を生産するために，より多くの中間財を投入すれば，より少ない汚染の排出ですむということになる。企業の利潤最大化条件を求め，それを産業レベルにまとめると，$p_M M = \alpha p Y_1$，$\tau D = (1-\alpha)pY_1$, となる。ただし，p_M は中間財 M の価格，p は第 1 財の価格，τ は政府によって課される汚染 1 単位当たりの環境税率である。第 1 財の価格は，以下のようになる。

$$p = A^{-1}\alpha^{-\alpha}(1-\alpha)^{-(1-\alpha)}(p_M)^{\alpha}\tau^{1-\alpha}.$$

農業部門では，労働のみを生産要素として，生産活動を行うと仮定する。農業財 1 単位を生産するためには，労働 1 単位が必要であるとしよう[(2)]。さらに，農業財をニューメレールとする。農業財

(1)　汚染を実質的な生産要素として取り扱っているような設定の詳細については，Copeland and Taylor（1994）や Stokey（1998）を参照せよ。

(2)　Copeland and Taylor（1999）は，工業財部門で排出された汚染が，農業財部門の生産性に影響を及ぼすような設定を行っているが，本稿では，そのような部門間の影響は存在しないものとする。

市場が完全競争的であることを考慮すると，農業財の価格=労働者の賃金 $= 1$ となる。[3]

次に，中間財について議論しよう。中間財 M の市場は完全競争的であるとする。多くの中間財企業が，同一の生産関数のもとで生産活動を行っている。中間財の生産方法（生産技術）には，伝統的技術と最新型技術という 2 種類の技術があるとする。

伝統的技術で中間財を生産する場合，中間財 1 単位を生産するために，a_c 単位の労働が必要であるとする。すなわち，伝統的技術を前提とした場合の中間財の生産関数は，$M = (a_c)^{-1}L_1$ である。ただし，L_1 は工業財部門（工業財を製造するために必要な中間財部門）への労働投入量である。伝統的技術を使用した場合の中間財の価格を p_c で表すと，$p_c = a_c w = a_c$ となる。[4]

中間財 M が最新型技術を用いて生産される場合を検討しよう。最新型技術を用いて中間財が生産されるときの生産関数を，以下のように設定する。

$$M = a_m(\bar{L}_1)L_1. \tag{2}$$

ただし，a_m は生産性，$\bar{L}_1$ はこの部門における総労働投入量を表す。ここで，a_m は，$\bar{L}_1$ の関数であるものとし，以下のように特定化する。

$$a_m(\bar{L}_1) = \bar{L}_1^{\beta-1}.$$

ただし，$\beta > 1$ である。ここで，$\bar{L}_1^{\beta-1}$ はマーシャル的外部性を表しており，個々の企業にとって，$\bar{L}_1$ の値は所与である。中間財を生産する同質的企業は，連続的に存在するものとし，その数を 1 に基準化する。このとき均衡では，$\bar{L}_1 = L_1$ となる。

中間財（M）の生産量は，企業レベルにおいては，労働投入（L_1）に対して線形である。個々の企業は，$\bar{L}_1$ の水準を所与とみなしているからである。しかしながら，この部門における労働投入量が多くなればなるほど生産性も高くなるため（企業の生産活動が，自らの意図とは関係なく，中間財部門全体の生産性上昇に寄与しているため），産業レベルで見た場合，労働投入量と生産量とは非線形の関係をもつことになる。

最新型の技術で生産活動が行われたときの中間財の価格を p_m で表すと，[5] 以下のようになる。

$$p_m = \frac{1}{a_m(\bar{L}_1)} = L_1^{1-\beta}.$$

p_m が L_1 とともに減少することに注意しよう。最新型の技術で生産を行った場合，労働投入量が多いときほど，（産業レベルで見た）収穫逓増の影響により，生産性が上昇するため，単位当たりの費用が低くなるのである。

---

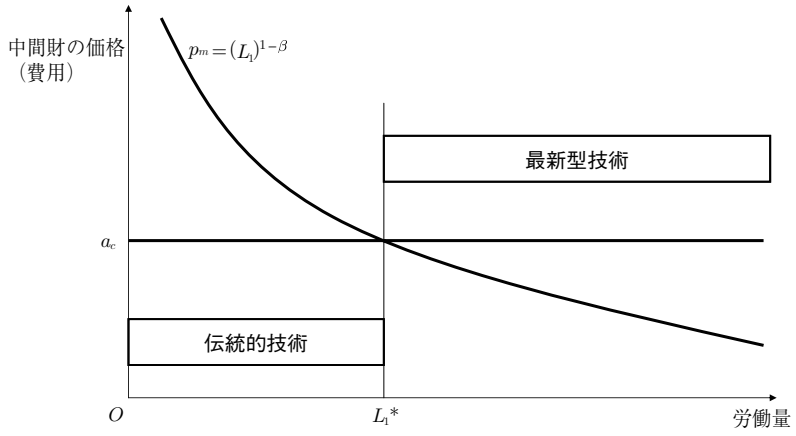
(3)　賃金率は 1 であるが，議論を明確にするために賃金率をあえて w で書くことがある。
(4)　下添え字 c は，伝統的技術を使用したときの変数であることを意味している。
(5)　下添え字 m は，最新型技術を使用したときの変数であることを意味している。

以上の議論を前提として，技術の選択問題について考えることにしよう。p_m が p_c より低い（高い）場合，最終財企業は，最新型（伝統的）技術を用いて生産した中間財を購入することになるであろう[(6)]。すなわち，以下の関係が成立するとき，中間財 M は最新型の技術で生産されることになる。

$$L_1 \geq a_c^{-\frac{1}{\beta-1}} = L_1^*. \tag{3}$$

$L_1 \geq L_1^*$ であるとき，中間財は最新型技術で生産され，中間財の価格 $p_M = p_m$ である。その一方で，$L_1 < L_1^*$ のときには，中間財は伝統的技術で生産され，中間財の価格 $p_M = p_c$ となる（図 1 を参照せよ）。

図 1　技術の選択



最後に，家計について議論することにしよう。すべての家計は同質的である。家計の効用は，各財の消費量と環境汚染量に依存する。家計は，1 単位の労働を保持しており，それを非弾力的に市場に供給し，賃金を得る。また，政府が環境税から得た税収も家計に還付されるとする。家計は効用を最大にするように，工業財と農業財を購入する。家計の効用を以下のように設定する。

$$U = \frac{(c_1^{\phi} c_2^{1-\phi})^{1-\theta} - 1}{1-\theta} - BD. \tag{4}$$

ただし，c_1，c_2，B はそれぞれ第 1 財，第 2 財の 1 人当たりの消費量，汚染の不効用の程度を表すパラメータである。また，パラメータ ϕ と θ はそれぞれ，$0 < \phi < 1$，$\theta > 0$ であるとする。家計の最適化行動を考慮し，それを集計化すると，消費と所得の関係として，$C_1 = \frac{\phi I}{p}$ と $C_2 = (1-\phi)I$ という関係が成立することが分かる。ただし，C_1，C_2，I はそれぞれ，工業財と農業財の総消費量，および，総所得である。ここで，総所得 I は以下のように定義される。

$$I = wL + \tau D = L + \tau D.$$

(6)　$p_c = p_m$ である場合には，政府等のコーディネイトにより最新型の技術が選択されるものとする。この仮定は，議論の本質ではなく，主要な結論にまったく影響を及ぼさない。

ただし，L は総労働量である。

3. 均衡と環境政策

本稿のモデルは，貿易の存在しない静学モデルである。したがって，$C_1 = Y_1$ と $C_2 = Y_2$ が成立する。このことと家計の最適化行動を利用すると，以下の関係が成立する。

$$(1-\phi)pY_1 = \phi Y_2. \tag{5}$$

さらに，企業の利潤最大化より，$\alpha pY_1 = p_M M = wvL = vL$，$Y_2 = (1-v)L$ となることを考慮すると，以下の関係が成立する。

$$\frac{pY_1}{Y_2} = \frac{v}{\alpha(1-v)}. \tag{6}$$

ただし，$v \equiv L_1/L$ であり，v は，総労働量に対する工業財部門への労働投入量の比率を表している。(5)，(6) より，均衡における v の値（v^a）は，以下のようになる。

$$v^a = \frac{\alpha\phi}{\alpha\phi + 1 - \phi}. \tag{7}$$

$0 < \alpha < 1$，$0 < \phi < 1$ より，$0 < v^a < 1$ となることに注意しよう。すなわち，v は常に内点解をとることになる。

次に新しく，L^* を定義する。L^* は，$v^a L^* = L_1^*$ として定義される。以下の関係が成立する。

$$L^* = (v^a)^{-1} L_1^* = \frac{\alpha\phi + 1 - \phi}{\alpha\phi} a_c^{-\frac{1}{\beta-1}}. \tag{8}$$

地域全体の人口水準が L^* よりも小さい場合には，伝統的技術が採用される。その一方で，地域における人口水準 L が，$L \geq L^*$ という関係をみたせば，中間財の生産には，最新型技術が用いられることになる。

L^* は，a_c の減少関数になることに注意しよう（(8) を参照せよ）。a_c が大きいということは，伝統的技術がより非効率であることを意味する。a_c が大きいほど，より小さな人口水準において（集積のより早い段階で），収穫逓増型の技術の方が効率的になるのである。

3.1 伝統的技術が用いられた場合の最適環境政策

人口水準が低く，中間財の生産には，伝統的技術が用いられているものとしよう。より厳密には，人口水準が $L < L^*$ という関係をみたしている場合を考察する。第 i $(i = 1,\ 2)$ 財の 1 人当たりの生産量と 1 人当たりの消費量は，それぞれ $y_i \equiv \frac{Y_i}{L}$ $(i = 1, 2)$ と $c_i \equiv \frac{C_i}{L}$ $(i = 1, 2)$ となっている。また，$c_i = y_i \equiv \frac{Y_i}{L}$ であることを考慮すると，以下の関係が成立する。

$$\frac{C_1}{L} \equiv c_1 = A\left(\frac{v^a}{a_c}\right)^{\alpha} L^{\alpha-1} D^{1-\alpha},$$

$$\frac{C_2}{L} \equiv c_2 = 1 - v^a.$$

ここで，c_1，c_2 を効用関数に代入すると，以下のようになる。

$$U = \frac{[A^\phi \left(\frac{v^a}{a_c}\right)^{\alpha\phi} L^{(\alpha-1)\phi}(1-v^a)^{1-\phi} D^{(1-\alpha)\phi}]^{1-\theta} - 1}{1-\theta} - BD. \tag{9}$$

効用水準（9）をみると，家計の効用が（家計が所与として行動していた）汚染水準に依存していることが分かる。

政府の最適な環境政策について考えることにしよう（政府は環境税を通じて汚染の排出量を制御できたことを思い起こそう）。政府の目的が代表的家計の効用最大化であるとすると，政府は，（9）を最大にするように汚染水準を決定することになる。最適な汚染量（D_c）は以下のようになる。

$$D_c = \left[\frac{(1-\alpha)\phi}{B}\left(A^\phi(\frac{v^a}{a_c})^{\alpha\phi} L^{(\alpha-1)\phi}(1-v^a)^{1-\phi}\right)^{1-\theta}\right]^{\frac{1}{1+(\theta-1)(1-\alpha)\phi}}. \tag{10}$$

3.2　最新型技術が用いられた場合の最適環境政策

次に，人口水準が $L \geq L^*$ という関係をみたしている場合を考察する。この場合，人口水準が高く，中間財の生産には，最新型技術が用いられることになる。伝統的技術のときと同様の手続きで，第 i $(i = 1,\ 2)$ 財の 1 人当たりの消費量を求めると以下のようになる。

$$\frac{C_1}{L} \equiv c_1 = A(v^a)^{\alpha\beta} L^{\alpha\beta-1} D^{1-\alpha},$$
$$\frac{C_2}{L} \equiv c_2 = 1 - v^a.$$

これを効用関数に代入し，効用水準を求めると

$$U = \frac{[A^\phi (v^a)^{\alpha\beta\phi} L^{(\alpha\beta-1)\phi}(1-v^a)^{1-\phi} D^{(1-\alpha)\phi}]^{1-\theta} - 1}{1-\theta} - BD$$

となる。ここで，最適な汚染量を求めると，最適な汚染量（D_m）は以下のようになる。

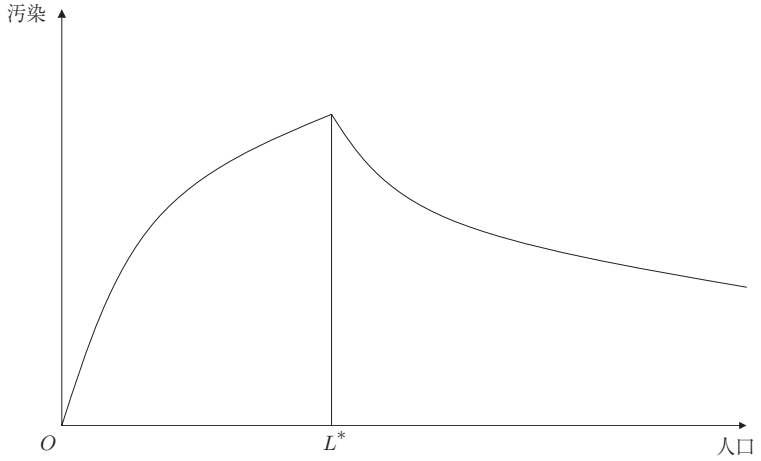
$$D_m = \left[\frac{(1-\alpha)\phi}{B}\left(A^\phi (v^a)^{\alpha\beta\phi}(1-v^a)^{1-\phi} L^{(\alpha\beta-1)\phi}\right)^{(1-\theta)}\right]^{\frac{1}{1+(\theta-1)(1-\alpha)\phi}}. \tag{11}$$

3.3　集積と汚染との関係

ここでは，人口集積と汚染との関係について議論することにしよう。伝統的技術から最新型技術への転換が生じる人口水準は，(8) で与えられていた。

人口が少ない（多い）場合は，中間財は伝統的（最新型）技術で生産され，最適な汚染量は $D_c(D_m)$ で与えられる。いま，$\theta > 1$，および $\alpha\beta > 1$ が成立するとしよう。このとき，人口水準が低い場合，D_c と人口水準 L は，正の相関をもつ。すなわち，人口水準が高いときほど，汚染量も多くなる。その一方で，人口水準が高い場合，D_m と人口水準 L は，負の相関をもつ。すなわち，人口水準が高いときほど，汚染量は少なくなる。以上の議論をまとめると，$\theta > 1$，および $\alpha\beta > 1$ が成立するとき，人口水準と汚染水準は逆 U 字の関係をもつことが分かる（図 2 を参照せよ）。

図 2　人口と汚染水準



このような帰結に対する直感的な含意は以下のようになる。人口が少ないとき，工業財部門は，伝統的技術を用いて生産活動を行うため，均衡における 1 人当たりの生産量は労働に関して収穫逓減となる。したがって，人口が比較的少ない場合，人口の増加とともに，その地域内における 1 人当たりの所得水準は減少することになる。したがって，政府はそのような収穫逓減を緩和するために，人口が増加したときほど，環境に対する規制を緩和し，所得を増加させなければならない。他方，集積が進むと，工業財部門は，最新型の技術を用いて生産活動を行うようになる。このとき，人口の増加とともに，地域内における 1 人当たりの所得水準は急速に増加するため，政府はより厳格な環境政策を採用する余裕も生まれるのである。収穫逓増の程度がより大きいほど（$\alpha\beta$ が大きいほど），このような状況は生じやすい。

また，θ が大きいということは，限界効用がより急速に逓減していくということを意味している（θ が消費の限界効用の弾力性であることに注意しよう）。θ が大きい場合，人口水準が高くなり所得水準が増加していくとき，消費の上昇から得られる便益が急速に減少していく。このとき，効用にお

ける環境汚染の重要性が相対的に高まるため，環境に対する規制を強化することが，効用の上昇のために，より重要となる。すなわち，人口水準が十分に高いとき，汚染水準は，集積とともに減少しうるのである。以上の議論より以下の命題が成立する。

命題 1　$\theta > 1$，$\alpha\beta > 1$ を仮定しよう。$L < L^*$ のとき，最適な汚染水準は，人口の増加とともに増加する。その一方 $L > L^*$ であるとき，最適な汚染水準は，人口の増加とともに減少する。すなわち，最適な汚染水準は，人口水準と逆 U 字の関係をもつ。

このパラメータ制約について議論しよう。$\theta > 1$ は多くの成長モデルにおいて妥当とされている仮定である。多くの成長モデルでは，θ を 1.5 から 2 の間の値として仮定している（例えば，Lucas（1998）や Barro and Sala-i-Martin（2004）を参照せよ）。この制約は，Stokey（1998），Aghion and Howitt（1998, Ch.5），伊ヶ崎（2004）などの環境と成長に関するモデルにおいて，持続的成長のために必要とされる条件でもある。したがって，$\theta > 1$ という仮定は妥当であると考えて良いと思われる。

次に，$\alpha\beta > 1$ という仮定について考えることにしよう。分配面から見た場合，α は中間財のシェアであり，$1 - \alpha$ は汚染のシェアである。汚染のシェアについての議論は比較的困難であるが，1 つのアイディアとして，GDP に対する汚染削減などへの支出のシェアと考えることもできるであろう。Brock and Taylor（2004）で議論されたように，GDP に対する削減投資への比率は概して低い。彼らは，多くの OECD 諸国で，汚染削減活動に対する支出割合は，GDP の 1.2–2.6 パーセント程度であることを示している。この解釈を用いれば，α が十分に 1 に近くなるため，収穫逓増の程度が十分に低くても，$\alpha\beta > 1$ という関係は成立しうる。これ以降は，$\theta > 1$，$\alpha\beta > 1$ が成立することを前提として，分析を行うことにする。

図 2 は，1 人当たりの所得と環境汚染水準との逆 U 字の関係である環境クズネッツ曲線と類似していることに注意しよう。ただし，ここでは，集積の程度（人口）と汚染が逆 U 字の関係をもつので，環境クズネッツ曲線とは異なっている。

ここで，環境クズネッツ曲線について論じた Stokey（1998）や Aghion and Howitt（1998, Ch.5）などとの比較をしておくことにしよう。Stokey（1998）や Aghion and Howitt（1998, Ch.5）においては，資本蓄積や技術水準の上昇とともに，環境規制をまったく行わないという端点解から環境政策を行うようになる内点解への移動が生じることが，環境クズネッツ曲線が導出される背景にあった。これに対して，本稿のモデルでは，伝統的技術から最先端技術への技術の転換が，集積の程度と汚染水準との逆 U 字の関係をもたらす要因となっている。

また，ここで，人口と汚染が逆 U 字の関係をもつというのは，あくまでも最適な環境政策を行ったことを前提とした場合の帰結であることに注意しなければならない。また，本稿のモデルは非常

に単純化されたものであるため，この関係が成立するかどうか否かについては，さらなる実証的考察を必要とするであろう。

4. 厚生，社会的最適状態，および政府の産業政策

4.1 社会的に最適な汚染量

ここでは，社会的最適状態について分析する。社会的最適状態と前節までに議論した市場経済との間に乖離がある場合には，社会的に最適な状態を達成させるための政府の介入についても議論しなければならない。まずは，中間財 M が伝統的技術で生産される場合を考えることにしよう。このときの効用水準は，以下のようになる。

$$U = \frac{[A^{\phi}\left(\frac{v}{a_c}\right)^{\alpha\phi} L^{(\alpha-1)\phi}(1-v)^{1-\phi}D^{(1-\alpha)\phi}]^{1-\theta} - 1}{1-\theta} - BD. \tag{12}$$

社会的計画者は，最適な v（これを v_c^s で表す）と D（これを D_c^s で表す）を求めることになる。これらを求めると以下のようになる。

$$v_c^s = v^a, \tag{13}$$

$$D_c^s = D_c. \tag{14}$$

ここで，上添え字 s は，社会的最適に付随する水準であることを意味している。伝統的技術が用いられている場合には，市場経済の結果が社会的最適となる[(7)]。これは，伝統的技術を用いた場合，環境汚染以外の外部性が存在しないからである。

次に，中間財 M が最新型技術で生産される場合を考えることにしよう。このときの効用水準は，以下のようになる。

$$U = \frac{[A^{\phi}v^{\alpha\beta\phi}L^{(\alpha\beta-1)\phi}(1-v)^{1-\phi}D^{(1-\alpha)\phi}]^{1-\theta} - 1}{1-\theta} - BD. \tag{15}$$

最適な v（これを v^s であらわす）と D（これを D_m^s であらわす）は，以下のようになる。

$$v^s = \frac{\alpha\beta\phi}{\alpha\beta\phi + 1 - \phi}, \tag{16}$$

$$D_m^s = \left[\frac{(1-\alpha)\phi}{B}\left(A^{\phi}(v^s)^{\alpha\beta\phi}(1-v^s)^{1-\phi}L^{(\alpha\beta-1)\phi}\right)^{(1-\theta)}\right]^{\frac{1}{1+(\theta-1)(1-\alpha)\phi}}. \tag{17}$$

---

(7) ただし，最適な技術の転換点は，市場経済と異なる可能性があることに注意しよう。後の議論では，市場経済より低い人口水準で，伝統的技術から最新型技術に転換することが社会的に望ましいということが示される。

4.2　社会的に最適な技術

ここでは，社会的に最適な技術が人口水準とともにどのように変化するのかを考えよう。2 つの効用水準（12）と（15）を比較すると

$$\left(\frac{v^a}{a_c}\right)^{\alpha\phi} L^{(\alpha-1)\phi}(1-v^a)^{1-\phi} > (\leq)(v^s)^{\alpha\beta\phi} L^{(\alpha\beta-1)\phi}(1-v^s)^{1-\phi} \tag{18}$$

となる場合には，伝統的（最新型）技術が選択されることが分かる。（18）は，以下のように変形できる。

$$\left(\frac{v^a}{a_c}\right)^{\alpha\phi} (1-v^a)^{1-\phi} > (\leq)(v^s)^{\alpha\beta\phi} L^{\alpha\phi(\beta-1)}(1-v^s)^{1-\phi}. \tag{19}$$

市場経済のときと同様に，人口水準 L が小さい（大きい）とき，伝統的（最新型）技術が選択される。技術の転換が生じるような人口水準を L^{**} で表すとき，以下の命題が成立する。

命題 2　社会的最適状態における技術の転換が生じるような人口水準 L^{**} は，市場経済における技術の転換点 L^* よりも小さい。すなわち，社会的に最適な技術の転換点は，集積のより早い段階で生じる。

証明　補論を参照せよ。

4.3　政府の産業政策

本項では，マーシャル型の外部性を是正する政府の政策について議論する。これまでの市場経済の議論では，政府の環境政策について議論した。しかしながら，環境政策だけでは，社会的最適状態を達成できない。前項でみたように，最新型技術を用いた場合の工業財部門への労働配分や社会的最適状態における技術の転換点は，市場経済における水準とは異なっている。これは，本稿のモデルにおいては，環境汚染の外部性だけではなく，マーシャル型の外部性も存在するからである。

人口が少なく $L < L^{**}$ である場合，伝統的技術が使用されており，政府の介入は必要ない。その一方で，$L \geq L^{**}$ である場合には，最新型技術が使用され，なおかつ，工業財への労働配分が v^s となるように，政府は介入しなければならない。ここでは，政府が工業財部門の賃金の一定割合 ξ を助成するような状況を考えることにしよう。このとき，最終財部門の利潤最大化より，$\alpha p Y_1 = w(1-\xi)vL,\ \ Y_2 = w(1-v)L$ という関係が成立することが分かる。消費者の効用最大化より，再び，$pY_1 = \phi I\ \ Y_2 = (1-\phi)I$ となる。これをもとに，最適な助成率 ξ を求めることにしよう。最適な ξ とは，v の値を $v^s = \frac{\alpha\beta\phi}{\alpha\beta\phi+1-\phi}$ にするようなものである。最適な助成率は，以下のようになる。

$$\xi^* = \frac{\beta-1}{\beta}. \tag{20}$$

最新型技術が用いられている場合，市場経済における v の値は過少となっている。これは，市場経済においては，工業財部門における個々の中間財企業が，自らの生産性への貢献分（プラスの外部性）を考慮に入れず生産活動を行っているからである。したがって，外部性の内部化が必要となる。上記のような政策が施行されれば，資源配分は社会的に最適なものとなる。これをもとに以下の命題を得る。

命題 3　最適な労働の資源配分を実現させるための政府の政策は，工業財部門で雇用される労働の賃金に対する助成である。最適な助成率 ξ^* は，$\xi^* = \frac{\beta-1}{\beta}$ で与えられる。

以後，このような政府の政策（工業財部門で雇用される労働の賃金助成）を産業政策と呼ぶことにする。助成率は，収穫逓増が強くなるときほど高くなることに注意しよう。

5.　人口移動

5.1　人口水準と効用水準

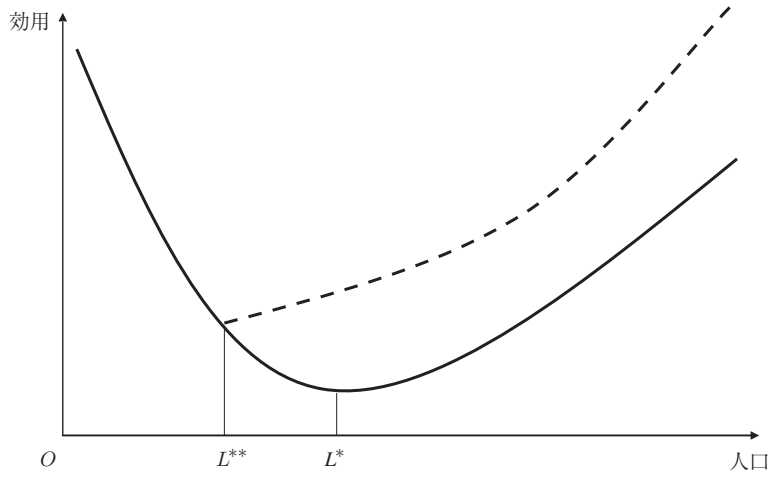
これまでの議論で，技術の転換と政府の政策（環境政策と産業政策）について議論してきた。そして，適切なパラメータ制約が成立する場合には，人口水準と汚染量に逆 U 字の関係があることを示した。本節では，人口移動に関する問題を考察する。

まずは，人口と効用との関係について議論しよう。産業政策が採用されなかった場合，最適な汚染量は，人口水準が小さく，伝統的技術が採用された場合は D_c であり，人口水準が大きく，最新型技術が採用された場合は D_m となる。産業政策が採用された場合，最適な汚染水準は異なってくる。最適な汚染量は，人口水準が小さく，伝統的技術が採用された場合は $D_c^s = D_c$ であり，人口水準が大きく，最新型技術が採用された場合は D_m^s となる。技術の転換点も L^* から L^{**} になる。

効用関数に，汚染水準を代入すると，効用水準は人口の関数として表されることが分かるであろう。人口水準が小さく，伝統的技術が採用された場合，収穫逓減のために，1 人当たりの生産量（したがって，1 人当たりの所得）は，人口とともに減少し，汚染量は人口とともに増加する。したがって，人口の増加とともに効用は減少することになる。逆に，人口水準が大きく，最新型技術が採用された場合，収穫逓増のために，1 人当たりの生産量（1 人当たりの所得）は，人口とともに増加し，汚染量は人口とともに減少する。したがって，人口の増加とともに効用は増加していくことになる。したがって，効用水準は，人口と U 字の関係をもつことになる（図 3 を参照せよ）。

産業政策が採用された場合，2 つの重要な変化が生じる。第 1 に，伝統的技術から最新型技術への技術の転換が生じる人口水準は政策によって左に移動する（命題 2 を参照せよ）。第 2 に U の右上

図 3　人口と効用



がりの部分は，産業政策によって，上方に移動する。これは，産業政策によって，効用水準が上昇するという事実を反映している。図 3 では，産業政策が行われたときの効用水準は，点線で描かれている。[8]

5.2　複数地域モデルにおける人口移動

本項では，これまでのモデルを拡充し，地域間の人口移動について考察する。まずは，他の周辺地域が一定の効用水準をもつような都市を考察し，その後 2 地域モデルを考察する。

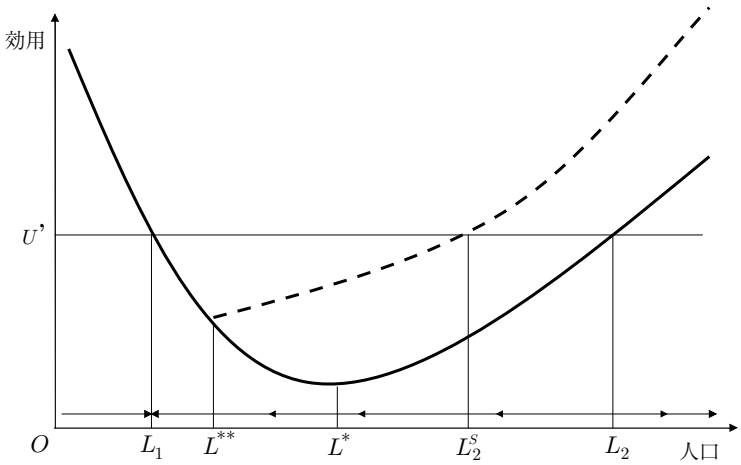
5.2.1　他の地域（周辺地域）の効用水準が一定となっているケース

周辺地域の効用水準が一定値 U' で与えられている都市を考えることにしよう。人口移動にはコストはかからないものとする。したがって，当該地域の効用水準が U' よりも高い場合には，他の地域からの人口の流入が生じる。逆に，当該地域の効用水準が U' よりも低い場合には，周辺地域へ人口が流出していくことになる。

第 1 に，産業政策が行われなかった場合を考察しよう。当該地域は，周辺地域の効用水準 U' を所与として行動する（図 4 を参照せよ。図 4 では，$U(L^*) < U', U(L^{**}) < U'$ であることを前提としている）。初期の人口水準（これを $L(0)$ で表す）が L_2 よりも大きいとき，周辺地域から当該地域への人口の流入が生じ，この地域の人口は増加していくであろう。$L(0) > L_2$ のとき，初期時点における当該地域の効用水準は，周辺地域よりも高いからである。初期の人口水準が L_1 と L_2 の間にある場合，当該地域からの人口の流出が生じるため，人口水準は減少していくであろう。このとき，長

(8)　本稿を通じて，産業政策が行われた場合の効用水準を点線で表すことにする。

図 4　周辺地域の効用水準が一定のときの人口移動



期的に人口水準は，L_1 に収束する。また，$L(0)$ が十分に L_2 に近いとき，この地域は，初期の段階では，最新型技術を用いているが，人口の流出が続くと，最新型の技術の生産性が低下していくため，やがて，伝統的技術を使用するような状態になってしまうことになる。$L(0)$ が L_1 よりも小さい場合には，当該地域のほうが効用水準が高いため，周辺地域からの人口の流入が生じ，長期的に人口水準は，L_1 に収束する。均衡点における安定性については，L_1 は安定であり，L_2 は不安定となることも分かる。

産業政策が採用された場合はどのようになるのであろうか。この場合，不安定均衡 L_2 は，L_2^s に移動するが，安定均衡 L_1 は変化しない。技術の転換が生じる点は，左に移動する。政策によって，集積が進む可能性が増加することに注意しよう。

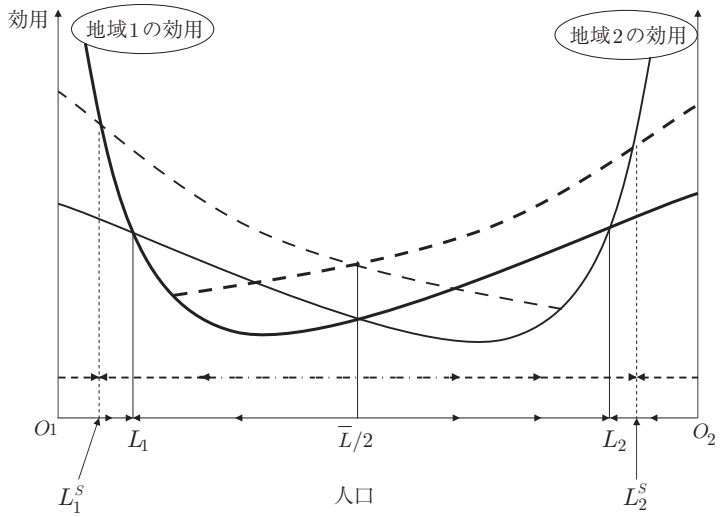
初期の人口が $L_2^s < L(0) < L_2$ の範囲にあるときには，産業政策が決定的な役割を果たすことにも注意しよう。このとき，産業政策が採用されていない場合には，人口は L_1 に収束する一方，産業政策が行われた場合には，集積が進むことになる。また，$U(L^*) < U' < U(L^{**})$，かつ $L(0) < L_2$ のとき，産業政策によって，経済は停滞から脱出することが可能となることも指摘しておくことにしよう。

5.2.2　2 地域モデルと人口移動

ここでは，2 地域モデルを用いて検討することにしよう。経済には，2 つの地域が存在し，経済全体での人口水準を $\bar{L}$ で表す。

第 1 に，L^* が $\frac{\bar{L}}{2}$（これは総人口の半分である）よりも小さい場合を考察する。すなわち，相対的に人口が多いケースを検討する。まずは，産業政策を行わなかった場合を考察しよう。ここでは，3 つの均衡が存在する（図 5 を参照せよ）。第 1 の均衡は，両地域が等しい人口をもつという対称均衡

図 5　地域モデルにおける人口移動（人口水準が相対的に大きい（$\frac{\bar{L}}{2} > L^*$）とき）



である。図 5 より，この対称均衡は不安定であることが分かる。他の 2 つの均衡（図 5 の L_1 と L_2）は安定である。 これらのことから，人口水準が相対的に大きい場合には，大都市と小都市という 2 つの非対称的な都市が生じる可能性が強いことが分かる。

初期の人口水準が，$\frac{\bar{L}}{2} < L(0) < L_2(L_1 < L(0) < \frac{\bar{L}}{2})$ であるとき，経済は，$L_2(L_1)$ に収束する。このとき，均衡（L_1 と L_2）の近傍においては，両地域とも汚染を減少させながら，均衡人口水準に収束していくことに注意しよう[(9)]。初期の人口格差が非常に大きいとき，すなわち $L_2 < L(0)(L(0) < L_1)$ のとき，経済は，再び $L_2(L_1)$ に収束する。このとき，汚染水準は汚染を増加させながら，均衡点に収束していくことになる。

産業政策が行われた場合を考えてみよう。このケースでは，不安定均衡 $\frac{\bar{L}}{2}$ は変化しない。 その一方で，安定均衡は変化する。2 つの安定均衡は，それぞれ L_1 と L_2 から L_1^s と L_2^s に変化する。したがって，人口水準が相対的に高いとき，産業政策は大都市と小都市との間の人口格差を拡大させることになる。

次に，人口が相対的に少ない場合（L^* が $\frac{\bar{L}}{2}$ よりも大きい場合）を検討しよう。このとき，対称均衡が唯一の均衡となり，なおかつこの均衡は安定となる（図 6 を参照せよ）。図 6 のようなケースでは，産業政策は人口移動や均衡に対して影響を及ぼさない。しかしながら，図 7 のように，産業政策によって対称均衡の安定性が崩れ，2 つの安定均衡と不安定な対称均衡という 3 つの均衡点が生じることもある。以上の議論より，以下の命題を得る。

---

(9)　均衡への収束と両地域の汚染の変化の関係については，大沼あゆみ先生より貴重なご意見をいただいた。

図６　地域モデルにおける人口移動（総人口が非常に少ない($L^{**} > \frac{\bar{L}}{2}$)とき）

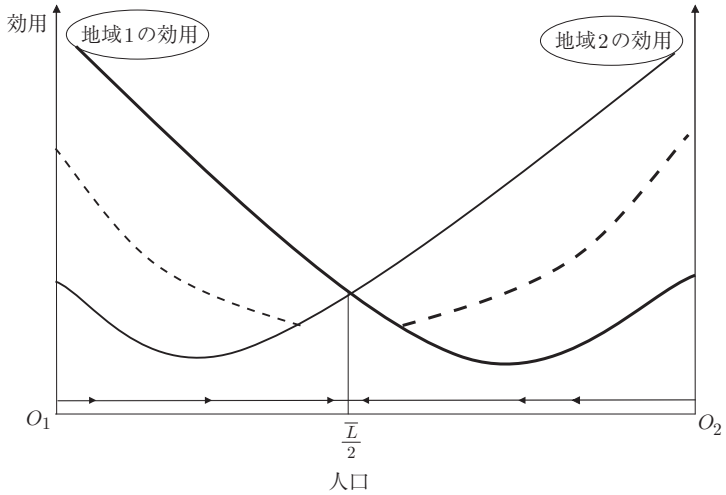
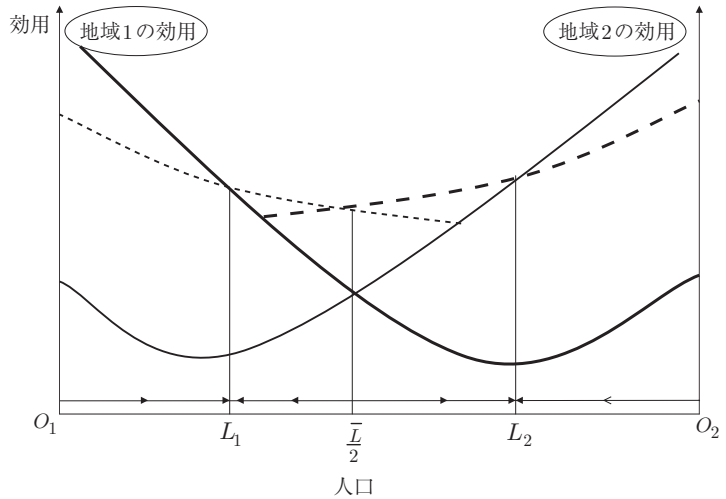


図７　地域モデルにおける人口移動（$L^* > \frac{\bar{L}}{2} > L^{**}$ のとき）



命題４　人口水準が相対的に大きいとき（$L^* < \frac{\bar{L}}{2}$ のとき），経済には３つの均衡が存在する。そのうちの１つは，２つの都市がまったく同じ人口をもつという対称均衡であり，他の２つは，大都市と小都市が共存する非対称な均衡である。安定性については，対称均衡は不安定であり，他の２つは安定である。また，自地域の効用を最大化するような産業政策を政府が行った場合，地域間の人口格差は拡大する。

命題５　人口水準が相対的に小さいとき（$L^* > \frac{\bar{L}}{2}$ のとき），経済の均衡は，対称均衡のみであり，この均衡は安定となる。また，$L^{**} > \frac{\bar{L}}{2}$ のとき，政府の産業政策は，人口移動にまったく影響を与え

なない。その一方で，$L^{**} < \frac{\bar{L}}{2} < L^{*}$ のとき，産業政策によって，対称均衡は不安定になり，3 つの均衡が存在するようになる。

6. おわりに

本稿では，比較的単純な都市経済学の一般均衡モデルを用いて，集積，技術の転換，環境汚染の問題を考察した。Yamamoto（2005）に基づき，工業財（本稿の設定では，厳密には工業財の生産に必要な中間財）を生産する際の技術には 2 種類存在するものと仮定した。人口の集積は，収穫逓増型の生産技術の生産性を上昇させるため，人口の集積によって，収穫一定型の伝統的技術から収穫逓増型の最新型技術への転換が生じることになる。しかしながら，Yamamoto（2005）とは異なり，本稿では，工業財部門においては，生産の際に汚染が排出される。Krugman（1991）をはじめとする新しい経済地理の文献において，集積と環境汚染との問題は，十分に議論されてこなかったので，このような拡張は興味深いものである。

本稿の主要な結論は，以下のようなものである。第 1 に，人口の集積によってもたらされる技術の転換は，最適な環境水準（すなわち，必要とされる政府の環境政策）にも影響を及ぼす。人口が少なく，工業財部門が伝統的技術を用いて生産活動を行っているとき，均衡における 1 人当たりの生産量は労働に関して収穫逓減となるため，政府は収穫逓減を緩和するための環境政策（すなわち，低い環境税率で高い汚染水準を認める政策）を採用する。その一方で，人口が多く，工業財部門が最新型技術を用いて生産活動を行っているとき，均衡における 1 人当たりの生産量は労働に関して収穫逓増となる。また，1 人当たりの所得が十分に高くなるため，汚染の限界便益（汚染を増加させることによって，所得を増加させ，消費を増加させることからくる効用の増加分）は十分に小さくなる。このとき，政府には，高い環境税率を課し，汚染水準を低下させる政策が求められることになる。

第 2 に，環境政策だけでは，社会的最適状態を達成できないということである。これは，最新型技術がマーシャル型の外部性を伴う設定になっているからである。企業が最新型の技術を用いて生産活動を行っている場合，政府は，工業部門における労働のコスト（賃金）の一部を助成し，工業部門における雇用を拡大させなければならない。

第 3 に，複数地域モデルを用いて人口移動を議論した。特に，2 地域モデルの人口移動では，総人口水準が多いか少ないかに応じて，均衡の性質が異なってくることを示した。人口水準が，相対的に大きい場合には，対称均衡は不安定となり，大都市と小都市という 2 つの非対称な都市が出現する可能性が高くなる。また，産業政策は，都市間の人口格差を広げることになる。その一方で，総

人口水準が相対的に少ない場合には，対称均衡は安定的なものとなる。

A. 補論

ここでは，$L^{**} < L^{*}$ となることを証明する。(18) を考慮すると，$L = L^{*}$ のとき，以下の関係が成立することを示せばよい。

$$\left(\frac{v^a}{a_c}\right)^{\alpha\phi}(1-v^a)^{1-\phi} \leq (v^s)^{\alpha\beta\phi}L^{\alpha\phi(\beta-1)}(1-v^s)^{1-\phi}. \tag{A.1}$$

ここで，$v^a L^{*} = L_1^{*}$ となることを考慮すると

$$(L^{*})^{\alpha\phi(\beta-1)} = \left(a_c^{-\frac{1}{\beta-1}}(v^a)^{-1}\right)^{\alpha\phi(\beta-1)}$$

となることが分かる。したがって，(A.1) を以下のように書き換えることができる。

$$(v^a)^{\alpha\beta\phi}(1-v^a)^{1-\phi} \leq (v^s)^{\alpha\beta\phi}(1-v^s)^{1-\phi}. \tag{A.2}$$

ここで，関数 $g(v)$ を以下のように定義する。

$$g(v) \equiv (v)^{\alpha\beta\phi}(1-v)^{1-\phi}.$$

関数 $g(v)$ が，v^s で最大になるので，(A.2) は，常にみたされることが分かる。したがって，$L^{**} < L^{*}$ となる。**証明終わり**

(熊本学園大学経済学部准教授)
(釧路公立大学経済学部准教授)

謝　辞

本研究に当たり，文部科学省平成 19 年度科学研究費補助金（No.16330048 および No.17730164）を活用した。

参　考　文　献

[1] Abdel-Rahman, H. M. and M. Fujita (1990), "Product Variety, Marshallian Externalities and City Size," *Journal of Regional Science* 30: 165–183.

[2] Aghion, P. and P. Howitt (1998), *Endogenous Growth Theory*, MIT Press.

[3] Barro, R. J. and X. Sala-i-Martin (2004), *Economic Growth, 2nd edition*, MIT Press.

[4] Bjorvatn, K. (2000), "Urban Infrastructure and Industrialization," *Journal of Urban Economics* 48(2): 205–218.

[5] Brock, A. B. and M. S. Taylor (2004), "Economic Growth and the Environment: A Review of Theory and Empirics," *NBER Working Paper* 10854.

[6] Copeland, B. R. and M. S. Taylor (1994), "North-South Trade and the Environment,"

Quarterly Journal of Economics 109: 755–787.

[7] Copeland, B. R. and M. S. Taylor (1999), "Trade, Spatial Separation, and the Environment," *Journal of International Economics* 47: 137–168.

[8] Dixit, A. K. and J. E. Stiglitz (1977), "Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity," *American Economic Review* 67, 297–308.

[9] Fujita, M., P. Krugman, and A. J. Venables (1995), *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade,* The MIT Press, MA.

[10] Grossman, G. M. and A. B. Krueger (1995), "Economic Growth and the Environment," *Quarterly Journal of Economics* 110: 353–377.

[11] Hosoe, M., T. Naito, and H. Fukuyama (2001), "Trade, Externalities of Industrial Pollution and Economic Geography," presented in Regional Science Association International North American meeting 2001.

[12] Hosoe, M. and T. Naito (2006), "Trans-boundary Pollution Transmission and Regional Agglomeration Effects," *Papers in Regional Science* 85: 99–120.

[13] Ikazaki, D. (2006), "R & D, Human Capital, and Environmental Externality in an Endogenous Growth Model," *Internationl Journal of Global Environmental Issues* 6: 29–46.

[14] Ikazaki, D. and T. Naito (2007), "Population, Technological Conversion, and Optimal Environmental Policy," *The Annals of Regional Science*, DOI: 10.1007/s00168-007-0171-1.

[15] John, A. A. and R. A. Pacchenino (1994), "An Overlapping Generations Model of Growth and the Environment," *Economic Journal* 104: 1393–1410.

[16] Krugman, P. (1991), "Increasing Returns and Economic Geography," *Journal of Political Economy* 99: 483–499.

[17] Lucas, R. E. Jr. (1988), "On the Mechanics of Economic Development," *Journal of Monetary Economics* 22: 3–42.

[18] Murphy, K. M., Shleifer, A., and Vishny, R. W. (1989), "Industrialization and the 'Big Push," *Journal of Political Economy* 97: 1003–1026.

[19] Selden, T. M. and D. Song (1994), "Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?," *Journal of Environmental Economics and Management* 27: 147–162.

[20] Stokey, N. L. (1998), "Are There Limits to Growth?," *International EconomicReview* 39: 1–32.

[21] World Bank (1992), *World Development Report 1992, Development and the Environment,* The World Bank.

[22] Yamamoto, K. (2005), "A Two-region Model with Two Types of Manufacturing Technologies and Agglomeration," *Regional Science and Urban Economics* 35: 808–835.

[23] 伊ヶ崎大理（2002）「環境クズネッツ曲線の理論と実際」,『九州経済学会年報』第 40 集，1 頁–8 頁。

[24] 伊ヶ崎大理（2004）『地球環境と内生的経済成長』，九州大学出版会。

[25] 内藤徹（2004）『規制と環境の都市経済理論』，九州大学出版会。