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

共同実施における政策手段の比較とその成立のための諸条件 ： 成長モデルを用いた分析

伊ヶ崎，大理

https://doi.org/10.15017/3052489

出版情報：経済論究. 102, pp.33-52, 1998-11-30. 九州大学大学院経済学会
バージョン：
権利関係：

共同実施における政策手段の比較とその成立のための諸条件

——成長モデルを用いた分析——

伊ヶ崎　大　理

目　次

1　序論
2　静学による分析
2.1　モデルの設定
2.2　共同実施が存在しないケース
2.3　共同実施を伴うケース
2.3.1　所得移転を通じての共同実施
2.3.2　技術移転を通じての共同実施
2.4　所得移転と技術移転との比較
2.5　共同実施がなされるための諸条件
3　動学による分析
3.1　モデルの設定
3.2　共同実施が存在しないケース
3.3　共同実施を伴うケース
3.3.1　所得移転を通じての共同実施
3.3.2　技術移転を通じての共同実施
3.4　所得移転と技術移転との比較
3.5　共同実施がなされるための諸条件
4　結論
5　補論
5.1　不等式（2，18）の証明
5.2　シャドー・プライスの動向
5.3　技術移転が継続的な影響を持つケース

1　序　論

近年，地球規模での環境問題が深刻になるにつれて，経済と環境との関係はますます注目されるようになってきている。我々が21世紀における持続可能な発展というものを考えるときに，次のような問題を経済分析に組み込むことは有益であるだろう。

1)　経済が成長するにつれて，汚染物の排出量はどのような変化をたどるのであろうか。

2)　共同実施を行うことで排出量を削減することはできるのであろうか。

3)　共同実施の手段としてはどのようなものが望ましいのであろうか。

しかしながら，従来これらの議論は必ずしも十分になされてこなかったように思われる。

環境と経済との関係を取り扱った近年の文献としては，一人当たりの所得と汚染量の間における逆

U字の関係を指摘したGrossman and Krueger (1995)，経済成長と排出量との関係を研究したStokey (1998)，2国間の枠組みで汚染量と貿易との関係を論じているCopeland and Taylor (1994)，社会厚生の最適化のために排出物に対して適切な税を課すことの必要性を述べた細田 (1997)，そして 経済成長と自然ストックとの関連性に焦点を当てているBetratti,et al.(1993)，(1996)，非対称情報のもとでの共同実施を考察したHagem (1996) 等がある。

本稿は，Stokey (1998) の議論を拡張することによって，環境と経済成長との関係を二国間の枠組みで分析しようと試みたものである。本稿では，閉鎖経済のもとで，環境と経済成長の問題を分析したStokey (1998) の議論を先進国と発展途上国が存在するようなモデルへと拡張することにする。主として，先進諸国と発展途上国の排出物削減に向けた共同実施がなされるような状況ができるのか，また，できるとするのであればどのような手段によってするべきなのか，あるいはそれが適切に機能するためにはどのような制度が必要なのかといった点を検討する。

本稿の以下の部分は次のように構成されている。まず，第2節では静学モデルを検討する。第3節ではそれを動学モデルに拡張する。両節とも，最初の部分で，先進国と発展途上国が協調しないケースと協調するケースに場合分けして考察を行う。後半部分では，共同実施の手段としてはどのようなものが望ましいのかということを検討し，その後，共同実施がなされるための条件を簡単なゲーム論の枠組みを用いて導出することにする。最後に，第4節では結論を述べる。

2　静学による分析

本節では，グローバル経済の枠組みにおいて，汚染を伴うような静学モデルを検討する。2.1では基本的なモデルの枠組みを述べ，2.2では個々の国が相手の行動を所与として自らの行動を決定するような状況を考察する。2.3では排出量を削減するような二種類の共同実施を導入し，それらによって各国の厚生が上昇しうるのかを調べ，2.4ではその二つの手段の比較，検討を行う。最後に，2.5ではそのような共同実施がなされるための諸条件を求めることにする。

2.1　モデルの設定

ここでは，本節で検討する静学モデルの基本的なフレームワークを述べる。本稿で検討される世界は二国からなるものとする。一国をN国，もう一方をS国と呼ぶことにしよう。各国において生産活動がなされるが，それに伴って汚染も排出されるものとする。また，両国において生産される生産物は同質であるものとする。

i 国（以下，$i=N,S$）における生産関数を次のように規定することにしよう。

$$Y_i=p_iAK_iz_i. \tag{2.1}$$

ただし，Y_i は i 国における総産出量，p_i は両国における技術の違いを表すパラメータ，Aは生産性のパラメータ，K_i は i 国における資本ストック，z_i は i 国において使用される技術の指標であり，$z_i\in[0,1]$である。下添え字 i は本稿を通じて i 国を表わすことにする。また，本稿を通じて資本移動は存在しないものとする。一人当たりの産出量は，次のようになる。

$$y_i = p_i A k_i z_i. \tag{2.2}$$

ただし，y_i, k_i はそれぞれ i 国における一人当たりの産出量，資本ストックであり，i 国における総人口を L_i とすると，$y_i \equiv Y_i/L_i$, $k_i \equiv K_i/L_i$ となる。

汚染は生産過程においてのみ排出されるものとする。議論の簡単化のために，消費などから発生する汚染は考えない。汚染の排出過程を表わす関数を次のように規定することにしよう。

$$D_i = AK_i z_i^{\beta}. \tag{2.3}$$

ただし，D_i は i 国における総排出量である。また，βはパラメータであり，$\beta>1$である[1]。この定式化によると，所与の資本ストック K_i に対して，排出量は z_i に関する逓増的な関数となっている。Y_i と D_i の関数の性質により，所与の K_i に対して産出量が増加すると，汚染量が加速度的に増加することが確認される[2]。

また，z_i を D_i について解き，これを生産関数に代入すると次式が成立する。

$$Y_i = p_i (AK_i)^{1-\frac{1}{\beta}} D_i^{\frac{1}{\beta}}. \tag{2.4}$$

つまり，最終生産物は，実質的に資本ストックと排出物に関する一次同次の生産関数になっているということができる[3]。

次に，各国の消費者の効用（U_i）について述べることにしよう。i 国における代表的個人の効用関数を次のように定式化する。

$$U_i = \frac{c_i^{1-\sigma}-1}{1-\sigma} - (B_1 D_i + B_2 D_j). \tag{2.5}$$

ただし，c_i は i 国における一人当たりの消費量であり静学モデルにおいては $c_i = y_i$ である。$B_1(B_2)$は自国（他国）の汚染に対する不効用の程度を表すパラメータであり，$B_1 > B_2 > 0$[4]とする。そして，$\sigma > 0$ とする。また，D_j は相手国の汚染量である（本稿を通じて下添え字 j は相手国の水準を表わすことにする。）。この効用関数では，前半部分で消費によってもたらされるプラスの効用が，後半部分で汚染から生じる不効用が表わされている[5]。

2.2 共同実施が存在しないケース

本項では，共同実施が存在しない状況における各国の行動について考察する。各国の政府は，z_i を（適切な政策手段を用いて）決定できると仮定することにしよう。各国における代表的個人は同一の

---

1 このような生産関数，および排出量を表す関数については，Stokey（1998）を参照せよ。

2 z_iを省エネ水準とみると理解しやすい。この解釈では，$z_i=1$のときは省エネが全く行われていない状況と見なすことができる。そして，z_iが小さいほど省エネ水準が上昇する。つまり，所与の潜在的な産出量に対して，省エネ水準を緩めて生産活動を行えば行うほど産出量も増加するが，それに伴う汚染は逓増的に増加していくことになる。逆に見れば，z_iが十分に大きいとき，すなわち省エネがまだ十分に行われる余地があるときには，省エネを進め産出量を押さえることによって，汚染を一気に減少させることが可能となる。しかしながら，z_iが比較的小さいときには，z_iを下げることによってもたらされる汚染量の減少は少量となるであろう。

3 排出物が（実質的に）生産要素となっているような生産関数は，Copeland and Taylor（1994），細田（1996）等においても用いられている。ただし，Copeland and Taylor（1994），細田（1996）では，最終生産物は労働と排出物に関する一次同次の関数で生産されるものと仮定されている。

4 この関係は，自国からの排出物のもたらす不効用の方がより大きいということを示している。

5 この効用関数の定式化のもとでは，消費の限界効用はプラスで逓減的であり，汚染の限界効用は負である。また，$\frac{c^{1-\sigma}-1}{1-\sigma} \equiv v(c)$と置くと，$\lim_{c\to\infty} v'(c)=0, \lim_{c\to 0} v'(c)=\infty$ となっていることも確認される。

選好を持ち，その効用関数は（2.5）のように設定されている。

社会的計画者（social planner）の問題は，上記の効用を最大化することである。ただし，本項では共同実施が存在しないので，この問題は相手国の行動を所与として自国の代表的個人の効用を最大化するものとして設定される。静学モデルにおいては，k_i の水準は所与であるので，社会的計画者は上記の効用を最大にするような z_i のみを設定する。一階の条件は次のようになる[6]。

$$dU_i/dz_i=(p_iAk_iz_i)^{-\sigma}p_iAk_i-\beta B_1Ak_iL_iz_i^{\beta-1}\geq 0. \tag{2.6}$$

このことから，$z_i\in[0,1]$ に注意し，（共同実施がないときの）最適な z_i を z_i^* で表わすと

$$z_i^*=\begin{cases}1 & (k_i\leq k_{i\delta})\\ (\beta B_1L_i)^{-h}(Ak_i)^{-\sigma h}p_i^{(1-\sigma)h} & (k_i>k_{i\delta})\end{cases} \tag{2.7}$$

となる。ただし，$h\equiv\dfrac{1}{\beta-1+\sigma}(>0)$, $k_{i\delta}\equiv p_i^{(1-\sigma)/\sigma}A^{-1}(\beta B_1L_i)^{-1/\sigma}$ である。(2.7) より，$z_i^*<1$（すなわち $k_i>k_{i\delta}$）の範囲では次の関係を導くことができる。

$$\partial z_i^*/\partial k_i<0,\quad \partial^2 z_i^*/\partial k_i^2>0. \tag{2.8}$$

上の関係より，一人当たりの資本ストックがある一定の値を超えると，よりクリーンな技術（より小さな値の z_i）が選択されることになる。

次に，総排出量について考察することにしよう。最適な技術の指標（省エネの測度），z_i^* に対応する汚染量を D_i^* で表すことにする。$k_i\leq k_{i\delta}$ のときには，$z_i^*=1$ であるので $D_i^*=AK_i$ となる。つまり，一人当たりの資本ストックが十分小さいときには，一人当たりの資本ストックと総排出量との間には正の相関がある。(2.3) と (2.7) に注意すると，$k_i>k_{i\delta}$ の範囲では総排出量は次のように表される。

$$D_i^*=p_i^{(1-\sigma)\beta h}(\beta B_1)^{-\beta h}L_i^{(\sigma-1)h}(Ak_i)^{(\beta-1)(1-\sigma)h}. \tag{2.9}$$

したがって，$\sigma>1$ のとき，$k_i>k_{i\delta}$（すなわち，$z_i^*<1$）という範囲に一人当たりの資本ストックがある場合には，汚染量は一人当たりの資本ストック量の増加とともに減少することが分かる[7]。また，最適値 z_i^* に対応する一人当たりの産出量（これを y_i^* で表すことにする）は，$z_i^*<1$ の範囲では次式で与えられる。

$$y_i^*=p_i^{\beta h}(Ak_i)^{(\beta-1)h}(\beta B_1L_i)^{-h}. \tag{2.10}$$

上式より次の関係がもたらされる。

$$\partial y_i^*/\partial k_i>0,\quad \partial^2 y_i^*/\partial k_i^2<0. \tag{2.11}$$

このことにより，k_i がある一定の値を超えると，一人当たりの産出量は，k_i に対して増加はするが逓減的なものとなるということができる。図1から図3では，技術の指標（z_i），総排出量（D_i），および一人当たりの産出量（y_i）の最適値が k_i の関数として描かれている。

6　通常，一階の条件は等号で成立する。しかしながら，このケースにおいては $z_i\in[0,1]$ となっていることに注意しよう。ただし，z_i が内点解となるときには等号で成立する。また，（z_i が内点解のときの）二階の条件は，$d^2U_i/dz_i^2<0$ であるが，これは常に成立している。

7　Grossman and Krueger (1995) は，一人当たりの所得と排出量との間の逆U字の関係を導き出した。

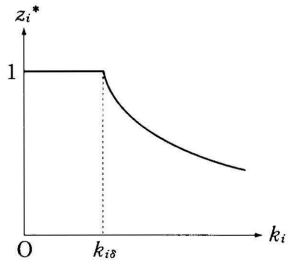

図1　i 国における一人当たりの資本ストック量と使用される技術の指標との関係。

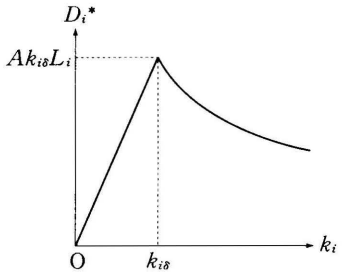

図2　i 国における一人当たりの資本ストック量と総排出量との関係($\sigma>1$のケース)

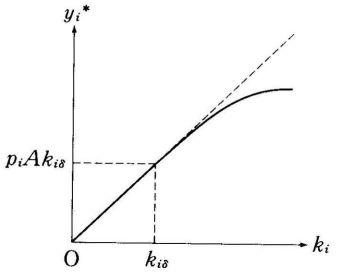

図3　i 国における一人当たりの資本ストック量と一人当たりの産出量との関係。

2.3　共同実施を伴うケース

ここでは，先進国と発展途上国が汚染を減少させるような共同実施を行うことによって，パレート改善が可能かどうかを検討する。いま，N国（先進国）は一人当たりの資本ストックが十分大きく $k_N>k_{N\delta}$ という水準にあり，S国（発展途上国）は $k_S\leq k_{S\delta}$ という水準にあると仮定する。このとき，前項の議論により，$z_N^*<1, z_S^*=1$ となる[8]。また，協調が存在しない場合には，N国の総産出量はS国のそれを上回っているということも仮定する。

本稿では，共同実施のことを「N国がS国に資金援助（あるいは技術移転）を行い，それに応じてS国が汚染を減らす」ものとして定義することにする。そして所得移転を通じての共同実施と技術移転を通じての共同実施の二種類を考察することにする。以下ではそれぞれの手段によって，先進国，発展途上国両国の厚生がどのように変化するのかについて検討しよう。

2.3.1　所得移転を通じての共同実施

まずは，所得移転を伴う共同実施について検討することにしよう。先進国から発展途上国への所得移転がなされたときの各国の効用と制約を次のように設定する。

$$U_N=\frac{(p_NAk_Nz_N^*-m)^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}-(B_1AK_Nz_N^{*\beta}+B_2AK_Sz_S(m)^\beta), \tag{2.12}$$

$$U_S=\frac{(Ak_S)^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}-(B_2AK_Nz_N^{*\beta}+B_1AK_Sz_S(m)^\beta), \tag{2.13}$$

$$Ak_S=Ak_Sz_S+\frac{L_Nm}{L_S}. \tag{2.14}$$

8　相手国の行動を所与として，自国の代表的個人の効用最大化をはかったとき，$z_i^*=1$ となるような国を発展途上国，$z_i^*<1$ となるような国を先進国と定義することにする。また，$p_N>p_S$ を仮定し，簡単化のために $p_S=1$ とする。p_N に関しては，$p_N>\frac{B_1}{B_2}(>1)$ という制約を課すことにする

ただし，mはS国の居住者に支払うN国の居住者一人当たりの助成金（移転される所得量）である。したがって，(2.14) の右辺の第二項はS国の居住者一人当たりが受け取る助成金ということになる[9]。

まず，S国について検討しよう。(2.14)の左辺は共同実施が存在しないときのS国における一人当たりの産出量を示している。右辺の第一項は助成がなされた後のS国における一人当たりの産出量である。第二項は上に述べたようにS国の居住者一人当たりに支払われる助成金である。つまり，S国にとってみれば，協調以前の消費量を確保するような助成金を受け取ることへの見返りとして，よりクリーンな技術を選択し(省エネを行い，あるいは排出物に対する規制をもうけ)，汚染量を減らすような契約となるのである。

(2.14) は次のように変形することができる[10]。

$$z_S=1-(L_N m/Ak_S L_S). \tag{2.15}$$

$m>0$ である場合，$z_S<1$ となるためS国から排出される汚染量は，協調以前と比べて減少することになる。したがって，N国における排出量がこれまでと同水準に保たれるならば，S国における代表的個人の効用は上昇する。したがって，このような契約はS国にとって受け入れる余地のあるものとなるであろう[11]。

次に，N国について検討することにしよう。(2.12)では，N国における代表的個人の効用が表わされている。第一項におけるmはS国に対して支払われるN国の居住者一人当たりの助成額である。したがって，N国の代表的個人の消費水準は一人当たりの産出量から助成額を控除した額 $p_N Ak_N z_N-m$ ということになる。議論の簡単化のために，z_N はこれまでの状態が維持されるものと仮定する[12]。所得移転を通じて z_S が減少すれば，S国の汚染量は減少するため，不効用も減少する。(2.15)を用いると，N国の代表的個人の効用は次のように書き換えることができる。

$$U_N=\frac{(p_N Ak_N z_N^*-m)^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}-B_1 AK_N z_N^{*\beta}-B_2 AK_S(1-L_N m/Ak_S L_S)^{\beta}. \tag{2.16}$$

また，$z_S\geq 0$ であるため，mを $AK_S L_S/L_N$ より増やしても z_S の値は0のままである。したがって，N国にとって，mを $AK_S L_S/L_N$ より増やすメリットは存在しない。このことから助成金mの制約としては，$0\leq m\leq Ak_S L_S/L_N$ という関係が成立する[13]。

N国の社会的計画者の問題は，U_N を最大化するようなmを求めるものとなる。(mが内点解である

9　$L_N m$ を，環境保護を目的とした政府開発援助（ODA）と見なすことも可能であろう。1992年度からの5年間で日本政府は，約1兆4400億円を硫黄酸化物の排出抑制や熱帯雨林の保護のために拠出した。また，1997年12月の京都会議終了後，日本政府は発展途上国に対する環境保護を目的とした円借款を拡大すると発表した。

10　より厳密には，$z_S\in[0,1]$ であることを考慮して，

$$z_S=\begin{cases}0 & (m>Ak_S L_S/L_N)\\ 1-(L_N m/Ak_S L_S) & (0\leq m\leq Ak_S L_S/L_N)\end{cases}$$

と書くべきである。ただし，$m>Ak_S L_S/L_N$ となるケースは後に検討されるN国の効用の最大化の過程において排除される。

11　S国においては，z_S を(2.15)で決定される水準よりも高い値に設定することによって，さらに高い効用を達成できるかもしれない。そうであるならば，この国際協調を破るようなインセンティブが存在することになる。そのような状況については次項で検討することにし，ここではとりあえず共同実施が遵守されるようなケースの各国の代表的個人の効用について考えることにする。

12　z_N も新たに設定できるものと仮定し，その時の最適値を $\tilde{z}_N$ で表すと，$\tilde{z}_N>z_N^*$ となる傾向があり，分析は複雑なものとなる。z_N が共同実施以前と同じ値をとるとき，N国の汚染量は協調以前の値と同じものとなる。

ときの）効用最大化のための一階の条件は次のようになる[14]。

$$dU_N/dm=\beta B_2L_N(1-L_Nm/Ak_SL_S)^{\beta-1}-(p_NAk_Nz_N^*-m)^{-\sigma}=0. \tag{2.17}$$

dU_N/dmを$m=0$, $m=Ak_SL_S/L_N$ で評価すると次のようになる。

$$dU_N/dm|_{m=0}=\beta B_2L_N-(p_NAk_Nz_N^*)^{-\sigma}>0, \tag{2.18}$$

$$dU_N/dm|_{m=Ak_SL_S/L_N}=-(p_NAk_Nz_N^*-Ak_SL_S/L_N)^{-\sigma}<0. \tag{2.19}$$

(2.18)の符号の判定については，補論（5.1）を参照せよ。

dU_N/dm をmの関数とみなしたとき，この関数が定義域内(すなわち，$0\leq m\leq Ak_SL_S/L_N$ を満たすmの範囲)で連続であることに注意すると，N国の代表的個人の効用を最大化するような唯一の助成水準$m_I^*(0\leq m_I^*\leq Ak_SL_S/L_N)$が存在することが分かる。このとき，(2.15)により，これに対応するS国の技術の指標（省エネ水準）$z_S(m_I^*)$も一意に存在する。したがって，N国が$z_N^*<1$にあるときにはいつでも所得移転を通じた共同実施を通して効用を高めることができることになる。

ここで，N国の一人当たりの助成額と他のパラメータとの関連を調べることにする。$dU_N/dm=G$と置く。mが最適値であるときには，$G=0$である。このとき，$\partial G/\partial w>0(w=p_N, B_2, k_S, k_N, L_S)$となる。$\partial G/\partial m<0$であるので陰関数定理を適用すると，次の関係を導出できる。

$$\partial m/\partial w=-\frac{\partial G/\partial w}{\partial G/\partial m}>0. \tag{2.20}$$

したがって，技術の格差（p_N），相手国の汚染に対する不効用の程度（B_2），両国における一人当たりの資本ストック（k_S, k_N），および発展途上国であるS国の人口（L_S）が高い値を取っているときほど，先進国であるN国の一人当たりの助成額もより高い値をとることが分かる。

2.3.2 技術移転を通じての共同実施

次に，技術移転による共同実施について検討することにしよう。ここで言う技術とは，p_iのことである。技術を移転するためには費用がかかるものとしよう。そして，技術移転によってp_Sが共同実施以前の水準(1)から上昇するものとしよう。技術移転がなされた後のp_Sとそれにかかる費用（m）を表す関数（$p_S(m)$）を次のように定式化することにする。

$$p_S(0)=1,\quad \lim_{m\to\infty}p_S(m)=p_N,\quad p_S'(m)>0,\quad p_S''(m)<0. \tag{2.21}$$

上の関係は，移転される技術の水準は費用に関して正ではあるが逓減的であることを意味している[15]。所得移転のときと同様に考えると，各国の効用，および制約は，(2.12)，(2.13) および，$Ak_S=p_S(m)Ak_Sz_S$で与えられることになるので，次の関係が成立する[16]。

$$z_S=\frac{1}{p_S(m)}. \tag{2.22}$$

---

13 当然のことながら，$mL_N\leq p_NAK_Nz_N$ という関係も成立しなければならない。しかしながら，$AK_S<p_NAK_Nz_N$ であるため，$0\leq m\leq AK_S/L_N$ が成立している時には常に$mL_N<p_NAK_Nz_N$ となる。つまり，この制約は事実上意味を持たない。

14 後の議論では，この解は常に内点解であるということが示される。また，(mが内点解のときの)二階の条件は$d^2U_N/dm^2<0$であるが，これは常に成立する。

15 $p_N>1$であることと共同実施が存在しない場合においては，仮定により$p_S=1$であることに注意しよう。また，図4を参照せよ。技術移転の場合には実現可能なmの制約として$0\leq m\leq p_NAK_Nz_N$ という関係が成立する。

16 この関係は所得移転を伴う共同実施における（2.14）に相当するものである。

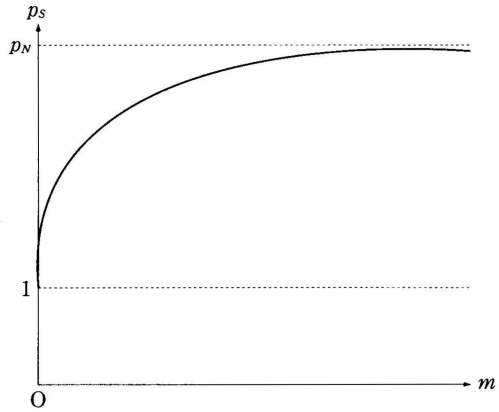

図 4　技術移転量とそれにかかる費用との関係

所得移転と同様の考え方によって，z_N が共同実施以前と同じ値をとるものとするとN国の最適な助成水準が求められる。(mが内点解であるときの）一階の条件は次のようになる[17]。

$$-(p_N A k_N z_N^* - m)^{-\sigma} + \beta B_2 A k_S L_S p_S(m)^{-\beta-1} p_S'(m) = 0. \tag{2.23}$$

上式から明らかに

$$\lim_{m \to +0} dU_N/dm > 0, \quad \lim_{m \to p_N A k_N z_N^*} dU_N/dm < 0 \tag{2.24}$$

となる。すなわち，この問題は唯一の内点解，m_T^* を持つ。

このことから，（所得移転のときと同様に）技術移転による共同実施も（それが適切に機能するのであれば）先進国，発展途上国両国の効用を上昇させることができるといえる[18]。

これらの背後にある直感的な含意は次のように説明される。ここでは，N国は $z_N<1$ となる程十分に大きい一人当たりの資本ストック量を保有していると仮定されている。消費の限界効用は逓減的であるため，産出量が大きいときには，消費を減らしてでも z_S が大きい（省エネ余力が十分にある）S国に対して助成することによって汚染を減らすような契約により効用を上昇させることができるのである。助成額が小さいときには，助成額の増加からもたらされる消費の効用の減少よりも汚染の不効用が減少することによる効用の上昇のほうが大きい。やがて助成額が大きくなると前者の効用の減少のほうが後者の不効用の減少よりも大きくなるため，助成額の水準は一意に決定されるのである。

2.4　所得移転と技術移転との比較

次に，所得移転と技術移転において，共同実施の手段としてどちらがより望ましいのかを検討する。議論を始める前に，z_S とmとの関係について調べることにしよう。この二つの関係は (2.15) および，(2.22) で与えられる。ただし，(2.15) は共同実施の手段として所得移転が用いられた場合の z_S とm

17　（mが内点解であるときの）二階の条件は，$d^2U_N/dm^2<0$ であるが，これは常に成立している。
18　所得移転のときと同様に，p_N, k_N, k_S, L_S, B_2 の値が大きいほど m_T^* の値が大きくなるということも確認できる。

との関係であり，(2.22)は共同実施の手段として技術移転が用いられた場合のそれである。z_S と m に関するこれら2つの関係は，図5で描かれている。(2.15) の関係を表したものがII線，(2.22) の関係を表したものが，TT線である。この2つの曲線の交点を m_v で表すことにしよう[19]。以下では二つの興味深いケースに焦点を当てることにする。

a) m_I^*，および m_T^* がともに m_v より小さい場合。

このケースでは，N国，つまり先進国は共同実施の手段として，技術移転を選択する。ここで，

$$p_S(m_I^*)^{-1}<1-(L_N m_I^*/Ak_S L_S) \tag{2.25}$$

に注意すると，$\dfrac{(p_N Ak_N z_N^* - m_I^*)^{1-\sigma}-1}{1-\sigma} - B_1 D_N^* - B_2 AK_S[1-(L_N m_I^*/Ak_S L_S)]^\beta <$

$\dfrac{(p_N Ak_N z_N - m_I^*)^{1-\sigma}-1}{1-\sigma} - B_1 D_N^* - B_2 AK_S p_S(m_I^*)^{-\beta}$ となる。ところが，この右辺は，明らかに

$\dfrac{(p_N Ak_N z_N^* - m_T^*)^{1-\sigma}-1}{1-\sigma} - B_1 D_N^* - B_2 AK_S p_S(m_T^*)^{-\beta}$ よりも小である。m_T^* が，技術移転政策を用いた共同実施の際の唯一の最適な助成水準であったことを思い起こそう。したがって，m_T^* および，m_I^* がともに m_v より小さい場合には，技術移転の方が望ましいことになる。

b) m_I^* および，m_T^* がともに m_v より大きい場合。

上記と同様の方法によって，この場合には所得移転による共同実施の方が望ましいということが分かる[20]。

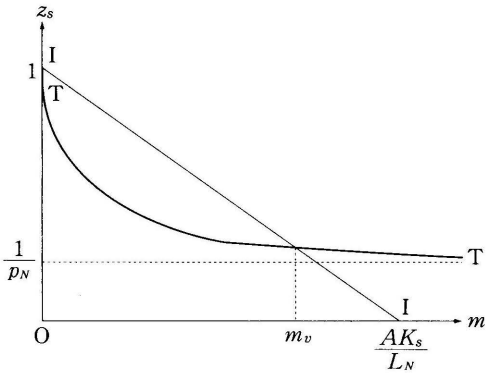

図5　助成額とS国の技術の指標との関係。ただし，II曲線は共同実施の手段として所得移転が用いられたときの関係であり，TT曲線はその手段として技術移転が用いられたときの関係である。両者の交点を m_v で表している。

19　この2つの曲線の交点がただ一つしかないということは容易に確かめることができる。

20　この他にも $m_I^*<m_v<m_T^*$ となるケース，$m_T^*<m_v<m_I^*$ となるケースが存在する。前者のようなことはは起こり得ない。また後者のケースに関しては一概にはどちらともいえないので実際に数値を代入して比較しなければならない。

21　本項における議論は，共同実施がいかなる形で行われたとしても成立する。

22　より正確には，共同実施として所得移転が用いられた場合には，$k_S \leq k_{S8} - L_N m_I^*/AL_S$ のとき，技術移転が用いられた場合には，$k_S \leq p_S(m_T^*)^{(1-\sigma)/\sigma h} A^{-1}(\beta B_1 L_S)^{-1/\sigma}$ の時に，S国は $z_S=1$ と設定することがわかる。以後は，場合分けによる議論の煩雑さを防ぐために $k_S \leq k_{S8} + L_N m^*/AL_S$，および $k_S \leq \bar{k}_{S8}$ を仮定することにしよう。

2.5 共同実施がなされるための諸条件

前項では，（その手段として所得移転が用いられにしろ技術移転が用いられるにしろ）共同実施によって先進国（N国），発展途上国（S国）両国の効用が上昇するということが明らかになった。しかし，このような共同実施が実際になされるかどうかについては，議論がなされてこなかった。本項では，前項で検討された共同実施がなされうる諸条件について考察しよう[21]。

まず第一に問題となるのは，S国が実際に（2.15），あるいは（2.22）という水準で生産を実現するのかということである。これまで，S国では，N国における助成額mが決まるとそれに対応するz_Sが一意に決定されると仮定されてきた。しかし，S国がz_Sを変化させる，つまり共同実施を破ることによって，自国の効用を上昇させることができるのであれば，S国にはそれを破るようなインセンティブが存在することになる。N国が前項で求められた最適な助成を行ったときにもS国がz_Sを自由に選択できると仮定すると，z_Sが十分小さいときには，$z_S=1$となることがわかる[22]。すなわち，たとえいかなる共同実施が実施されたとしても，S国にとってはそれを破るようなインセンティブが常に存在するのである。

次に問題となるのはN国の助成政策である。発展途上国であるS国が前項で示唆されたような共同実施から逸脱する可能性があるということをN国が知っているものとしよう。そのような状況では，助成政策を行うことによりN国の効用が減少するのは明らかであるので，前項で提示されたようなS国における汚染の削減を目的とした共同実施は決してなされることはないであろう（ここでも，z_Nは共同実施がなされなかったときと同じ水準をとるものと仮定することにする。）。いま，先進国と発展途上国の両国がm，z_Sを選択できるものと仮定する。そして，N国が戦略として$m=0, m^*$を[23]，S国が戦略として$z_S=z_S(m^*), 1$をとることができるものとする。これらの両国の戦略として出てくる結果は2×2のマトリックスでもたらされている（表6を参照せよ。）。そして，2.2における「共同実施がないケース」で成立する均衡値，（U_N^*, U_S^*）は囚人のジレンマの状況におけるナッシュ均衡解となっていることが分かる。つまり，2.3で指摘された「共同実施がなされる」時の値（U_N^{**}, U_S^{**}）は，ともに（U_N^*, U_S^*）よりも高いものになっているにもかかわらず，このゲームにおけるナッシュ均衡で選ばれる値は（U_N^*, U_S^*）である。したがって，共同実施がなされた場合には，両者ともより高い効用水

S

N		$z_S=z_S(m^*)$	$z_S=1$
	$m=m^*$	U_S^{**} U_N^{**}	U_S^A U_N^B
	$m=0$	U_S^B U_N^A	U_S^* U_N^*

表6　国際的な協調が存在しないときの各国のそれぞれの戦略に付随する効用水準。$U_i^A>U_i^{**}>U_i^*>U_i^B$という関係がある。

S

N		$z_S=z_S(m^*)$	$z_S=1$
	$m=m^*$	U_S^{**} U_N^{**}	U_S^C U_N^B
	$m=0$	U_S^B U_N^C	U_S^D U_N^D

表7　国際的な罰金制度を伴うときの各国のそれぞれの戦略に付随する効用水準。$U_i^{**}>U_i^C>U_i^B>U_i^D$もしくは$U_i^{**}>U_i^B>U_i^C>U_i^D$という関係がある。

23　共同実施の手段として所得移転が用いられる場合には，$m^*=m_T^*$，技術移転が用いられる場合には，$m^*=m_T^*$と定義する。

準が達成できるにもかかわらず，実際に達成されるのは（協調しない，協調しない）という戦略と両国におけるより低い効用水準となるのである。

このようなジレンマを回避する方策として，国際的な罰金制度の確立がある。一例として，N国において $m=0$ としたとき，あるいはS国において $z_S=1$ としたとき，両国がそれぞれ「罰金」を支払うような設定があげられるであろう。罰金の額は $m=0, z_S=1$ とするよりも $m=m^*, z_S=z_S(m^*)$ を選択したほうが効用が高くなるような額であればよい。極端なケースとしては，各国においてその総産出量全てを支払わなければならないように設定することもできるであろう。そのときのN国，S国における効用水準は表7のようになる。このような国際的な罰金制度が適切に機能すれば，両国は，S国の汚染を減少させるような共同実施によって，自国の効用を上昇させるような政策を行うであろう。

3　動学による分析

前節では，汚染が効用に対してマイナスの影響を持つような経済における静学モデルを検討した。本節では，動学モデルを検討することにする。まず，3.1で動学モデルの基本的な枠組みを述べ，3.2で各国が相手国の行動を所与として自らの行動を決定するような状況を考察する。3.3では，排出物を削減するような二種類の共同実施（すなわち，所得移転を通じたものと技術移転を通じたもの）を導入し，3.4ではその二つの比較，検討を行う。そして3.5では，そのような協調がなされるための諸条件を求めることにしよう。

3.1　モデルの設定

世界は以前と同じように2国から構成されているものとしよう。両国の最終生産物，排出物の生産関数は前節と同様に定義する。ただし，本節においては資本ストック，技術の指標などは通時的に変化しうるものとする。

次に，消費者について規定する。i 国 ($i=\mathrm{N}, \mathrm{S}$) における代表的個人の t 期における瞬時的な効用関数 ($U_i[c_i(t), D_i(t), D_j(t)]$) を次のように定式化することにする。

$$U_i[c_i(t), D_i(t), D_j(t)]=\frac{c_i(t)^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}-(B_1D_i(t)+B_2D_j(t)). \tag{3.1}$$

ただし，$c_i(t)$ は t 期における i 国の一人当たりの消費水準，$k_i(t)$ は t 期における i 国の一人当たりの資本ストックの水準といったように (t) が付されたものは t 期における水準を表している。したがって，i 国における代表的個人の無限時間視野にわたる効用流列の現在価値の総和は次のようになる。

$$\int_0^\infty e^{-\rho t}U_i[c_i(t), D_i(t), D_j(t)]dt. \tag{3.2}$$

ただし，$p(>0)$ は主観的割引率である。

3.2 共同実施が存在しないケース

本項では，国際的な強調が存在しない場合の各国の行動について検討することにしよう。静学モデルと同じように社会的計画者の問題を考察する[24]。共同実施が存在しないので，各国の社会的計画者は相手国の行動を所与として行動するであろう。つまり，社会的計画者は，蓄積方程式の制約のもとで，以下の目的関数を最大にするような消費及び技術水準の時間径路 $c_i(t), z_i(t), (t \geq 0)$ を選択する。

$$\max_{(c_i(t), z_i(t))} \int_0^\infty e^{-\rho t} U_i[c_i(t), D_i(t), D_j(t)]dt, \tag{3.3}$$

$$\text{subject to } \dot{k}_i(t) = p_i A k_i(t) z_i(t) - c_i(t). \tag{3.4}$$

ただし，$k_i(0) = k_{i0}$ は所与である。ここで，$\dot{k} \equiv dk/dt$ などのように，ドットは時間についての微分を表わことにする。蓄積方程式からも分かるように資本の減耗は存在しないと仮定される。

カレント・バリュー・ハミルトニアンは次のように設定される。

$$H(k_i, c_i, z_i, \lambda_i, t) = \frac{c_i^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} - B_1 A K_i z_i^\beta - B_2 A K_j z_j^\beta + \lambda_i (p_i A k_i z_i - c_i). \tag{3.5}$$

ただし，λ_i は i 国における資本のシャドー・プライス（shadow price）である。最大化のための条件として以下の関係が成立する。

$$c_i(t)^{-\sigma} = \lambda_i(t), \tag{3.6}$$

$$z_i(t) = \begin{cases} 1 & (\lambda_i(t) \geq \beta B_1 L_i / p_i) \\ (\lambda_i(t) p_i / \beta B_1 L_i)^{1/(\beta-1)} & (\lambda_i(t) < \beta B_1 L_i / p_i) \end{cases}, \tag{3.7}$$

$$\dot{\lambda}_i(t) = \begin{cases} \rho \lambda_i(t) - p_i A \lambda_i(t)(1 - B_1 L_i / p_i \lambda_i(t)) & (z_i(t) = 1) \\ \rho \lambda_i(t) + (1 - \beta/\beta) p_i A z_i(t) \lambda_i(t) & (z_i(t) < 1) \end{cases}, \tag{3.8}$$

そして，横断性条件，

$$\lim_{t \to \infty} e^{-\rho t} \lambda_i(t) k_i(t) = 0. \tag{3.9}$$

いま，初期の資本ストック k_{i0} がその定常状態値より小さい値から出発するものとする。また，$p_i A/\beta < p_i A - \rho$ を仮定しよう。この式は，定常状態において z_i が 1 より小となる条件である。このとき，$k_i(t)$ は通時的に上昇し，$\lambda_i(t)$ は減少する（証明については，補論［5.2］を参照せよ。そこでは，定常状態の近傍における安定性の議論もなされている。）。

次に，$z_i(t)$ の動きについて検討することにしよう。$\lambda_i(t)$ が十分大きいとき，$z_i(t) = 1$ である。しかしながら，$\lambda_i(t)$ は絶えず減少しているので，ある時期を超えると $\lambda_i(t) < \beta B_1 L_i / p_i$ となり，$z_i(t) < 1$ となる。その後，z_i は通時的に減少していき $z_i(t) = z_{iss}$ へ収束していく。ただし，下添え字 iss は i 国の定常状態における水準を表すことにする。

消費水準，$c_i(t)$ の動学的挙動についても考察することにしよう。(3.6) の両辺を対数を取り時間で微分すると次のようになる。

$$g_{Ci} = -\frac{1}{\sigma} \frac{\dot{\lambda}_i}{\lambda_i}. \tag{3.10}$$

ただし，g は下添え字の変数に関する成長率を表すものとする。つまり，$c_i(t)$ は通時的に上昇するが，

24　類似のモデルにおいて分権経済を導入したものとしては，Stokey (1998)，Ikazaki (1998) を参照せよ。

長期的な成長率は0となり，定常状態における水準（c_{iss}）に収束していく。

最後に，汚染水準 $D_i(t)$ について検討する。$z_i(t)=1$ の範囲では，汚染水準は資本ストックとともに増加していく。$z_i(t)<1$ の範囲では，$D_i(t)=AK_i(t)z_i(t)^{\beta}$ であることから，次の関係が成り立つ。

$$\begin{aligned} g_{Di} &= g_{ki}+\beta g_{zi} \\ &= \frac{\beta\rho}{\beta-1}-\frac{c_i}{k_i}. \end{aligned} \tag{3.11}$$

したがって，$z_i<1$ の範囲では，排出量の動学的挙動は曖昧なものとなる。ただし，σが十分に大きいときには，排出水準が通時的に減少していく（図8を参照せよ。）[25]。

3.3 共同実施を伴うケース

本項では，共同実施がなされるときの各国の行動について考察することにする。主として，そのような協調によって，前項で検討されたナッシュ均衡径路を改善できるのかどうかについて検討することにしよう。また，$z_N(0)<1, z_S(0)=1$ ということを仮定することにする。

静学モデルのときと同様に，(共同実施の手段として，所得移転がなされたとしても技術移転がなされたとしても）z_S は北の助成額に依存するものとする。そのとき，各国の目的関数と蓄積方程式を次のように表わすことができる。

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t}U_i[c_i(t), D_i(t), D_j(t), m(t)]dt, \tag{3.12}$$

$$\dot{k}_N(t)=p_N Ak_N(t)z_N(t)-c_N(t)-m(t), \tag{3.13}$$

$$\dot{k}_S(t)=\bar{y}_S(k_S(t), z_S(t), m(t))-c_S(t). \tag{3.14}$$

ここで，

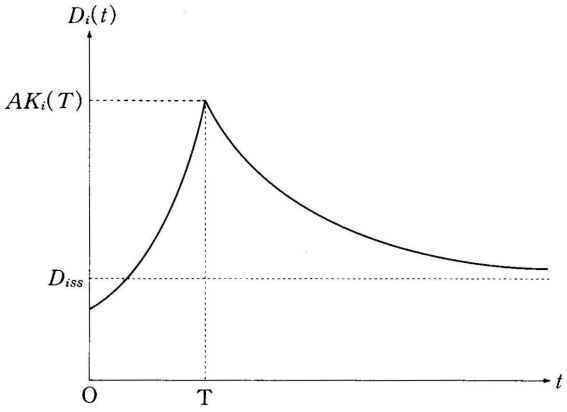

図8 （σが十分大きい場合の）i 国における総排出量の動学的挙動。

25 この議論についての詳細は，Ikazaki (1998) を参照せよ。

$$U_i[c_i(t), D_i(t), D_j(t), m(t)]=\frac{c_i(t)^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}-B_1AK_i(t)z_i(t)^{\beta}-B_2AK_j(t)z_j(t)^{\beta}. \tag{3.15}$$

ただし，$m(t)$ は t 期におけるN国一人当たりのS国に対する助成額である。また，$\bar{y}_S$ はS国が利用可能な財の量である。

本項で検討するのは，前項よりもパレート改善できるかどうかである。よって，議論の簡単化のために，$k_N(t), z_N(t), k_S(t), c_S(t)$ が前項と同じ径路を辿るものとしよう[26]。N国は，協調がなされなかったときの消費量を自国の消費分とS国に対する援助に振り分けるものとする。そして，S国はその見返りとしてより低い技術の指標，z_S を選択するものとしよう。

3.3.1　所得移転を通じての共同実施

まず，所得移転による共同実施について検討する。所得移転がなされた時には，($z_S^*=1$ の範囲における各 t において) 次の関係が成立するものとする。また，以下では記号の簡略化のために時間 (t) は省略する（ただし，必要に応じて (t) をつけることがある。)。

$$Ak_S^*=Ak_S^*z_S+(L_Nm/L_S). \tag{3.16}$$

ただし，アスタリスク（＊）は共同実施がなされなかったときの最適径路に付随する水準を表わす。(3.18)の左辺は協調がなされなかったときの t 期におけるS国の産出量である。右辺の第一項は協調がなされたときのS国の産出量，第二項はN国からの援助額である。(3.16) は協調がなされたとき，各期においてS国の（協調が存在しないときの）産出量が保証されることを意味している。

ある t に対して，$m(t)>0$ となるような t が存在するとき，S国の効用が上昇することは明らかである。なぜならば，N国の汚染物の径路とS国の消費水準の径路は協調以前と同じ径路を辿るが，S国の t 期における排出量は減少するからである。

次に，N国について検討することにしよう。$k_N(t), z_N(t)$ は協調が存在しないときと同じ径路をとるものと仮定されている。したがって，効用を上昇させるためには，N国が各期において自国の効用を最大化するような $m(t)$ を選択する。このような問題を考えるとき，N国は各 $t(0\leq t\leq T)$ において次式を最大化する。ただし，T は，共同実施が存在しないときに z_S^* が1から1より小となる時点である。

$$\frac{(c_N^*-m)^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}-B_1Ak_N^*L_Nz_N^{*\beta}-B_2Ak_S^*L_S(1-L_Nm/Ak_S^*L_S)^{\beta}. \tag{3.17}$$

z_S については，(3.16)の関係が用いられていることに注意することにしよう。一階の条件は次のようになる[27]。

$$dU_N/dm=\beta B_2L_N(1-L_Nm/Ak_S^*L_S)^{\beta-1}-(c_N^*-m)^{-\sigma}=0. \tag{3.18}$$

(3.18)を $m=0, m=Ak_S^*L_S/L_N$ の点で評価すると次のようになる。

26　より一般的には，新しくこれらの径路が決まると考えた方が妥当であろう。しかしながらこの場合の分析はより複雑となる。例えば，N国における一人当たりの資本ストックの定常状態値は，協調以前より高い値を取る傾向がある。そのような場合は，N国における排出量も増加する傾向がある。これらの各変数の径路を不変においたことで，両国における資本ストックの成長率に影響を与えなくても，パレート改善を果たしうるかどうかを検討することになる。

27　（mが内点解のときの）二階の条件は，$d^2U_N/dm^2<0$ であるが，これは常に成立することが分かる。

$$dU_N/dm|_{m=0}=\beta B_2 L_N-(c_N^*)^{-\sigma}>0, \tag{3.19}$$

$$dU_N/dm|_{m=Ak_S^*L_S/L_N}=-(c_N^*-Ak_S^*L_S/L_N)^{-\sigma}<0. \tag{3.20}$$

(3.19)の符号判定においては，前項における $z_N<1$ のときの条件が用いられている。

これにより，($z_S^*=1$ である場合には) N国にとってこのような協調が適切に機能するとき，自国の(瞬時的) 効用は各期において，常に上昇することが分かる。(3.20) によると，協調が存在しないときのN国の総消費量がS国の総産出量を上回っているときには[28]，mが内点解 $m_I^*(t)$ を持つということも確認できる (m 以外の変数については，アスタリスクは共同実施が存在しない時の最適径路を表わす。)[29]。

共同実施が存在しないときの U_N を $U_N^*(c_N^*, D_N^*, D_S^*)$ で表わすと，各 $t(t>0)$ に対して，$\bar{U}_N(c_N^*, D_N^*, D_S, m_I^*)\geq U_N^*(c_N^*, D_N^*, D_S^*)$ であり，少なくてもS国が発展途上国であるときには，$\bar{U}_N(c_N^*, D_N^*, D_S, m_I^*)>U_N^*(c_N^*, D_N^*, D_S^*)$ であるので，次の関係が成立する。

$$\int_0^\infty e^{-\rho t}\bar{U}_N(c_N^*, D_N^*, D_S, m_I^*)dt>\int_0^\infty e^{-\rho t}U_N^*(c_N^*, D_N^*, D_S^*)dt. \tag{3.21}$$

ただし，$\bar{U}_N$ は上記のような共同実施がなされたときの $m(t)$ の最適径路，$m_I^*(t)$ に付随する U_N の値である。したがって，両国は，たとえ自国の資本の蓄積径路を変化させなくても，所得移転を通した共同実施によって，いずれも自国の効用の上昇を図ることができる。

3.3.2 技術移転を通じての共同実施

技術移転を伴う共同実施の場合には，(3.16) の代わりに次の関係が成立する。

$$Ak_S^*=p_S(m)Ak_S^*z_S. \tag{3.22}$$

ただし，$p_S(m)$ は，(2.21) の関係を満たすものとする[30]。他の条件は全て所得移転のときと同様である。したがって，N国の問題は各 $t(0\leq t\leq T)$ において，その瞬時的効用を最大化するものとなる。

$$\frac{(c_N^*-m)^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}-B_1AK_Nz_N^*\beta-B_2AK_Sp_S(m)^{-\beta}. \tag{3.23}$$

(mが内点解のときの) 一階の条件は次のようになる[31]。

$$dU_N/dm=\beta B_2Ak_Sp_S(m)^{-\beta-1}p_S'(m)-(c_N^*-m)^{-\sigma}=0. \tag{3.24}$$

これを，$m=0, c_N^*$ で評価すると明らかに，

$$\lim_{m\to+0}dU_N/dm>0,\quad \lim_{m\to c_N^*}dU_N/dm<0 \tag{3.25}$$

---

28 (3.20) において $m=Ak_S^*L_S/L_N$ で評価しているということは，暗黙のうちに $c_N^*-Ak_S^*L_S/L_N>0$ の状況を考察したということを意味している。$c_N^*-Ak_S^*L_S/L_N<0$ のときに，この問題が内点解を持つことは容易に確認できる。

29 $z_S^*<1$ の時には，λ_S が十分大きいとき，共同実施がN，S両国の効用を上昇させるということも示すことができる。しかしながら，本稿で焦点が当てられるのは，先進国と発展途上国との共同実施であるので，本文ではあえてそのことは述べない。少なくてもS国が発展途上国であるときに，先進国と発展途上国の共同実施が両国における効用流列の現在価値の総和を上昇させることができることを証明するだけで十分であろう。

30 技術移転における一つの特徴は，移転された技術が瞬時的というよりもむしろ継続的な影響を持つという点にあるかもしれない。しかしながら，本節の議論ではそのような点に触れていない。ただし，補論では技術移転の影響が継続するような場合にN，S両国に与える影響について若干の考察がなされている。

31 後の議論で，mは必ず内点解であるということが導き出される。また，二階の条件は常に成立する。

となる。すなわち，この問題は常に唯一の最適解 $m_T^*(t)$ を持つ。したがって，所得移転の時と同様の議論を繰り返すことによって，技術移転を通じた共同実施もまた，N，S両国の目的関数を増加させることができるといえる。

3.4　所得移転と技術移転との比較

最後に政策上の比較を行うことにしよう。N国の助成額mとS国が選択する技術水準 z_S との関係は，(3.16) および，(3.22) で与えられている。したがって，$m_I^*(t), m_T^*(t) < m_v(t)$ であるような $t(0 \leq t \leq T)$ のときには技術移転を，$m_v < m_I^*(t), m_T^*(t)$ であるような $t(0 \leq t \leq T)$ に対しては技術所得を選択すればよい。ただし，$m_v(t)$ は，t 期における ((3.16) の関係を表した) II線と ((3.22) を表した)TT線との交点である。$m_I^* < m_v < m_T^*$ となるケースは起こりえず，$m_I^* < m_v < m_T^*$ である時には一概にはいえないので，実際に値を代入して比較しなければならない。脚注20を参照せよ。

3.5　共同実施がなされるための諸条件

本項では，動学モデルにおいて，協調がなされるための諸条件について検討することにしよう。基本的には2.5でもたらされたものと同じである。動学モデルにおいては，協調から逸脱した場合，例えば（十分大きな）資本没収がなされるというような制度を構築することがその解決策となる（再び表7を参照せよ。ただし，このときの表7における各Uは，効用流列の現在価値の総和というように読み替えられなければならない。)。

4　結　論

我々が21世紀における持続可能な発展を考えるときに，地球規模での環境問題を経済分析に取り込むことは不可欠であろう。本稿はそのような観点から，グローバル経済における環境と経済成長の問題について分析してきた。

第2節では，静学モデルを用いて分析を行った。相手の国の行動を所与として各国が自国の代表的個人の効用最大化を行った場合には，一人当たりの資本ストックと排出量との間には逆U字の関係があるという結果を得ることができた。次に，発展途上国の汚染を減少させるような共同実施を行うことによって，共同実施が存在しない状況におけるナッシュ均衡解をさらに改善しうることを見い出した。その後，共同実施の手段として，所得移転と技術移転のどちらがより望ましいのかという点を考察した。結論としては，最適な助成水準が比較的小さいときには技術移転を，比較的大きいときには所得移転を取るべきであるというものであった。しかしながら，両国は常にそのような協調から逸脱するインセンティブを持つことになるので，共同実施が適切に機能するためには，協調から逸脱した場合には，逸脱した国に「罰金」を課すような制度を確立することが，必要であるといった帰結を得ることができた。

第3節では，第2節で行った静学モデルを動学モデルに拡張した。まず第一に，相手国との協調が存在しないケースを検討した。両国がともに代表的個人の無限時間視野にわたる効用の最大化を行っ

た場合には，経済は唯一の定常状態へと収束することと，経済がある一定以上に発展すると省エネ活動が起こり汚染量が減少し得ることを確認した。その後，先進国が資金援助（もしくは技術移転）を行い，発展途上国がそれに応じて自国の汚染を減少させるような共同実施によって両国の厚生が上昇することを確認した。また，共同実施としては，最適な助成水準が比較的小さい期には技術移転を，大きい期には，所得移転を用いるべきであるという結果を得た。また，共同実施が適切に機能するためには静学モデルのときと同様に「罰金」を課すような制度が必要であるという帰結も得られた。

今後の研究課題としては，動学分析におけるより効率的な共同実施の方法，各国が共同実施を遵守しているのかを監視するためのモニタリングの導入，技術が内生的に決定されるようなメカニズム，特に排出物削減を目的としたR＆D活動の導入等が挙げられるであろう。

5 補 論

5.1 不等式（2.18）の証明

本項の目的は，（2.18）の不等式が成立することの証明である。（2.18）の不等式の証明は，以下の不等式の証明と同値である。

$$(\beta B_2 L_N)^{-1/\sigma} < A k_N z_N^*. \tag{5.1}$$

ここで，左辺$=p_N^{(\sigma-1)/\sigma} A k_{N\delta}\left(\frac{B_2}{B_1}\right)^{-1/\sigma} < p_N A k_{N\delta}\left(p_N \frac{B_2}{B_1}\right)^{-1/\sigma} < p_N A k_{N\delta} < p_N A k_N z_N^*$ となる。したがって，不等式（5.1）が成立するので（2.18）も成立する。

5.2. シャドー・プライスの動向

本項では，まず3.1におけるシャドー・プライス λ_i が通時的に下落するということを証明する。そして次に，定常状態の近傍における安定性について調べることにする。まず，$z_i=1$ のときを考えることにしよう。このとき，λ_i の成長率は，次のようになる。

$$\begin{aligned}\frac{\dot{\lambda}_i}{\lambda_i} &= \rho - p_i A + A/\beta(\beta B_1 L_i/\lambda_i) \\ &\leq \rho - p_i A + p_i A/\beta < 0.\end{aligned} \tag{5.2}$$

よって，$z_i=1$ のとき λ_i は減少する。

次に，$z_i<1$ のときを検討することにしよう。この場合は，位相図を書いてみることにする。$z_i<1$ のときの $\dot{\lambda}_i=0$ 線は，次の関係を満たす。

$$\rho + (1-\beta/\beta) p_i A (p_i \lambda_i / \beta B_1 L_i)^{1/(\beta-1)} = 0. \tag{5.3}$$

また，$g_{ki}=0$ 線は，次のようになる。

$$p_i A k_i (p_i/\beta B_1 L_i)^{1/(\beta-1)} = \lambda_i^{-(1/\sigma)-1/(\beta-1)}. \tag{5.4}$$

位相図は，図9で描かれている。今，一人当たりの資本ストックがその定常状態値より低いところから出発していると仮定されていることに注意しよう。このとき，k_i, λ_i がたどる径路は，1）k_i が0に向かって減少していく径路；2）λ_i, k_i がともにその定常状態値へと向かう径路；3）λ_i が λ_{iss} に，k_i が無限大へと向かう径路の3つである。

1）の径路は，最終的に経済がなにも生産しないような状態へと向かってしまう。3）の径路については，

$$(\lim_{t\to\infty} g_{ki})-\rho=Az_{iss}-\rho$$
$$=\rho/(\beta-1)>0. \tag{5.5}$$

という関係が成立するが，これは横断性条件を満たさない。したがって，唯一の径路は，2)のような，ともにその定常状態値へと向かう径路となる。そのとき，λ_i が減少していることも分かる。

次に定常状態での近傍におけるこのシステムの特徴を調べることにしよう。まず，次のような変数変換を行うことにする。

$$p=\log(k_i/k_{iss}),\ q=\log(\lambda_i/\lambda_{iss}). \tag{5.6}$$

これを定常状態の近傍で線形化すると，次の関係が成立する。

$$\begin{pmatrix}\dot{p}\\ \dot{q}\end{pmatrix}\approx\begin{pmatrix}\beta\rho/(\beta-1) & \beta\rho[1/(\beta-1)+1/\sigma]/(\beta-1)\\ 0 & -\rho/(\beta-1)\end{pmatrix}\begin{pmatrix}p\\ q\end{pmatrix}.$$

この右辺における第一項目の 2×2 の行列の行列式の値が負であることは直ちに求められる。したがって，この行列の固有値は，一つが正，もう一つが負となるので，定常状態の近傍でこのシステムは，サドル・パス（saddle path）となることが分かる。

5.3　技術移転が継続的な影響を持つケース

本文の第 3 節では動学モデルが考察された。しかしながら，本文における技術移転は，あくまでも瞬時的な影響しか与えないものと仮定されていた。ここでは，技術移転が継続的な影響を持つようなケースについて考えることにしよう。N国の技術移転量とそれにかかる費用の関係を次のように定式化し直すことにする。

$$p_S(t)=p_S(m(t),p_{S1}(t)). \tag{5.7}$$

ただし，$p_{S1}(t)$ は，t 期にまでにS国に移転された技術量，$p_S(m(t),p_{S1}(t))$ は，t 期における瞬時的な技術移転量を考慮した後のS国の p_S を表す関数であり，

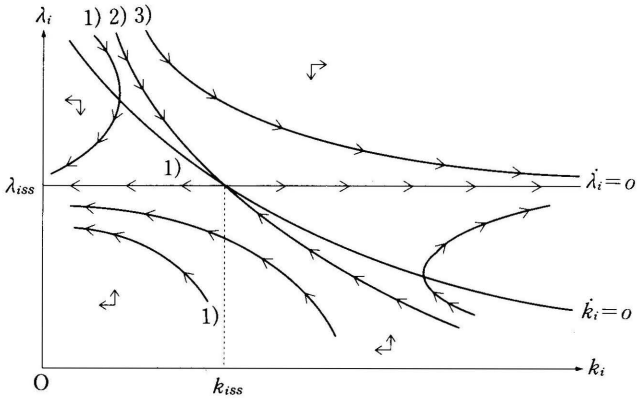

図 9　$z_i<1$ のときの i 国における一人当たりの資本ストック量（k_i）とシャドー・プライス（λ_i）の動学的挙動

$$p_S(0, p_{S1}(t))=p_{S1}(t), \tag{5.8}$$

および，$p_S(0)=1$ 以外の（2.21）の性質を持つ。

このような状況においては，所得移転が共同実施の手段として取られた場合，それに相当する $t(0\leq t\leq T)$ において（3.16）の代わりに次式が成立する。

$$p_{S1}(t)Ak_S(t)z_S(t)+\frac{L_N m(t)}{L_S}=Ak_S(t). \tag{5.9}$$

したがって，

$$z_S(t)=\frac{1}{p_{S1}(t)}\left(1-\frac{L_N m(t)}{Ak_S(t)L_S}\right). \tag{5.10}$$

また，技術移転が共同実施の手段として取られた場合，それに相当する $t(0\leq t\leq T)$ において（3.22）の代わりに次式が成立する。

$$p_S(m(t), p_{S1}(t))Ak_S(t)z_S(t)=Ak_S(t). \tag{5.11}$$

したがって，

$$z_S(t)=\frac{1}{p_S(m(t), p_{S1}(t))}. \tag{5.12}$$

すなわち，（3.16），と（3.22）の代わりに（5.10），（5.12）が成立する。したがって，II曲線，およびTT曲線は，ともに下方にシフト（I'I'曲線とT'T'曲線）することになる（図10を参照せよ。）。したがって，技術移転の効果が継続するのであれば，ある期で技術移転による共同実施がなされると，

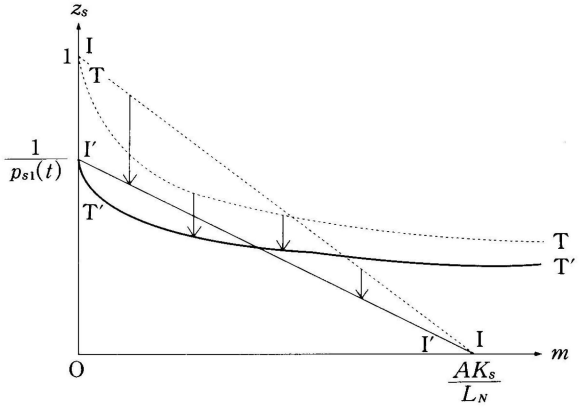

図10　技術移転が継続的な影響を持つケースの助成額とS国の技術の指標との関係。（3.16）の関係を示すII曲線は（5.10）の関係を示すI'I'曲線に（3.22）の関係を示すTT曲線は（5.12）の関係を示すT'T'曲線にそれぞれ下方にシフトしている。

32　第3節では，k_N, z_N, k_S, c_S は共同実施が存在する場合にも，ない場合にも同一の径路をたどると仮定していたために，（そのような仮定のもとでは）異時点間の影響は存在しなかった。しかしながら，技術移転が継続的な影響を持つという仮定は，そのような異時点間の影響をもたらすことになる。したがって，たとえ，瞬時的な効用を上昇させるためには，所得移転の方が望ましかったとしても，効用流列の現在価値を上昇させるためには，技術移転をするべきであるといった結論にもなりうるであろう。また，もう一つの特徴としては，T 期以降においても初期の段階で行なった技術移転の効果が継続するという点にある。

それ以降では，(技術移転が継続的な影響を持たない場合と比較して)より少ない費用において排出物削減が可能となる。したがって，このようなケースにおいては，初期の段階において技術移転を採用することが，効用上昇のために重要となるかもしれない[32]。

参　考　文　献

[1] Aghion, P. and P.Howitt, *Endogenous Growth Theory*, MIT press, 1998.

[2] Barro, R. J. and X. Sala-i-Martin, *Economic Growth*, McGraw-Hill, 1995. (大住圭介翻訳『内生的経済成長論 1.2』九州大学出版会，1997.)

[3] Beltratti, A.,G. Chichilnisky,and G.M.Heal, "Sustainable Growth and the Green Golden Rule," in Goldin and Winters(eds.) *Approaches to Sustainable Economic Development*, Cambridge University Press for the OECD, 147-172, 1993.

[4] Beltratti, A.,G. Chichilnisky,and G.M.Heal, "Sustainable Use of Renewable Resources," Working Paper, 1996.

[5] Copeland, B.R. and M. S. Taylor, "North-South Trade and the Environment," *Quarterly Journal of Economics*, vol.109, 755-787, 1994.

[6] Elbasha, E.H. and T. L. Roe, "On Endogenous Growth : The Implications of Environmental Externalities," *Journal of Environmental Economics and Management*, vol.31, 240-268, 1996.

[7] Grossman, G.M. and E.Helpman, *Innovation and Growth in the Global Economy*, MIT press, 1991. (大住圭介監訳『イノベーションと内生的経済成長—グローバル経済における理論分析—』創文社，1998.)

[8] Grossman, G.M. and A.B.Krueger, "Economic Growth and the Environment," *Quarterly Journal of Economics*, vol.110, 353-377, 1995.

[9] Hagem, C., "Joint Implementation Under Asymmetric Information and Strategic Behavior," *Environmental and Resource Economics*, vol.8, 431-447, 1996.

[10] Ikazaki, D., "The Environment and International Income Transfer in the Growth Model —the Analysis about North-South Cooperation—," Paper presented at Annual Meeting of Japanese Economic Association held at Ritumeikan University, September, 1998.

[11] Lucas, R, E,Jr., "On the Mechanics of Economic Development," *Journal of Monetary Economics*, vol.22, 3-42, 1988.

[12] Rebelo, S., "Long Run Policy Analysis and Long Run Growth," *Journal of Political Economy*, vol.99, 500-521, 1991.

[13] Romer, P.M., "Increasing Returns and Long-Run Growth," *Journal of Political Economy*, vol.94, 1002-1037, 1986.

[14] Romer, P.M., "Endogenous Technological Change," *Journal of Political Economy*, vol.98, S71-S102, 1990.

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

[16] Stokey, N.L., "Are There Limits to Growth?" *International Economic Review*, vol.39, 1-32, 1998.

[17] Mas-Colell, A., M.D. Whinston, and J.R. Green, *Microeconomic Theory*, Oxford University Press, 1995.

[18] 浅子和美・國則守生・村松敏弘「地球温暖化と国際協調」，宇沢弘文・國則守生編『制度資本の経済学』東京大学出版会，231-261，1995.

[19] 植田和広・岡俊弘・新澤秀則編『環境政策の経済学』日本評論社，1997.

[20] 大住圭介『長期経済計画の理論的研究』勁草書房，1986.

[21] 藤田康範「共同実施成立のための諸条件の検討」，環境経済・政策学会第2回大会報告論文，1997.

[22] 細田衛士「温暖化問題に経済理論が示唆するもの」，『経済セミナー』日本評論社，22-28，1997.