



Title	ゲーム理論による地球環境問題の分析：地球温暖化問題を中心に
Author(s)	修, 震杰
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 19(6), 473-527
Issue Date	1996-03-06
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/12169
Type	bulletin (article)
File Information	19(6)_p473-527.pdf



[Instructions for use](#)

ゲーム理論による地球環境問題の分析*

— 地球温暖化問題を中心に —

修 震 杰

(北海道大学農学部比較農政学講座)

(平成7年11月15日受理)

Analysis of Global Environmental Problems Using Game Theory — Emphasis on Global Warming —

Xiu Zhen-Jie

(Comparative Agricultural Policy, Department of Agriculture Economics,
Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060, Japan)

目 次

摘 要

第1章 序 論..... 475

1. 地球環境問題の限定と特徴
2. 汚染の現状
3. 問題意識および分析方法
4. 既存の研究
5. 論文の構成

第2章 公共財と環境問題における外部性..... 483

1. 地球温暖化と経済活動
2. 環境財の外部性と市場失敗の概念
3. 市場失敗と政府の介入
4. Lindahl 均衡と経済的方法
5. 環境政策

第3章 地球環境問題..... 495

1. 地球環境問題の解決困難
2. 一国の最適環境基準と世界規模の最適環境基準の矛盾
3. 国際協調の難点

第4章 地球環境問題と国際合意の必要性..... 504

1. 分析の基本モデル
2. 協力戦略と非協力線形戦略
3. 非線形戦略と均衡
4. 小 括

第5章 結 論..... 516

1. 国際貿易と環境政策の関係
2. 国際間資本流動が国の環境基準の設定に与える影響
3. 他の国の環境基準の影響
4. 地球環境問題に関する国際合意の可能性
5. 残された課題

参考文献..... 523

謝 辞..... 526

Summary 526

摘 要

環境は、無限の容量を持つ有害物の捨て場ではない。人類は大気中に含まれる二酸化炭素のおよそ1%に当たる量を毎年大気中に排出しているが、環境はその半分しか処理できないため、二酸化炭素濃度は毎年0.5%ずつ高まっている。仮にこれまでのような経済成長がなくても、人類の経済活動の影響はこれからも累積していく。環境に対するなんらかの対策がなければ、地球環境の劣悪化は破壊的になるであろう。

地球環境問題は、その物理的な発生原理について、一国の国内の環境問題と変わるところはない。地球環境問題は、単に規模においてこれまでの環境問題と異なるだけではない。地球環境問題の特徴的な性格は、関係国間の合意形成が困難なことである。主権国家は自国の国民の利益を追求することが

*北海道大学博士論文(1995)の一部。

基本である。このため、多くの国々は、他国に原因がある公害によって自国領内に生じる不利益には敏感であっても、自国の利益の追求に伴って他国に不利益をもたらすことには鈍感である。世界は、基本的にこうした性格を持つ国家によって分割、統治されている。地球環境問題の解決が困難な理由は、国益を追求する目的と地球環境を守る目的が、両立しがたいことにある。

地球環境問題を解決するために、各国の自主的解決策をゲームの均衡解で求めることができないならば、すなわち、各国が自主的解決策をとることができないならば、地球環境問題を解決するためには国際協力が必要である。ここには、いくつかの問題点がある。協力することがすべての国にとって有利でないならば、または、ある国の協力がその国の損失をもたらすのであれば、協力の合意(条約)は達成できない。さらに、すべての国にとって有利であっても、どんな協力の方法をとるか、また、協力によって得られた利益をどう分配するか、という問題も解決しなければならない。これらの問題を解決するのは容易ではない。しかし、もしも、自主的解決策をとることがゲームのパーフェクト均衡(信頼できる均衡)であれば、問題解決は困難でない。もし、このような均衡がゲームの中の唯一の均衡解であれば、この均衡の結果(自主的解決策をとること)は「当然の結果」として受け入れられる。もし均衡解が唯一の解でなければ、関係国の対話のみによって解決できる。つまり、多数の均衡解の中で、環境問題が解決されるという結果と同じ均衡を選択することができる。この場合は、フリーライダーの問題も避けられる。あるいは一部の国の事前の宣言によって、合意がなくても、あたかも協力するような結果が得られる。この場合を自主的協力と呼ぶ。

この考えは一見不可能に見えるが、古くからある囚人のジレンマというゲームを想起するとよい。共同犯罪の二人の犯人が検事に容疑者として捕まえられ、別々に事情徴収される時、検事が自供を誘うため「あめ」(有利な条件)を与えても、必ずしも犯人は検事的意思に沿って自供するわけではない。勿論、自供するケースもあるし、自供しないケースもある。自供するのを非協力的行動(犯人の間で非協力)、自供しないのを自主的協力的行動と考えて、このゲームのプレーを見てみる。二人の犯人の間での行動は、非協力ゲーム(事前的約束がない)の場合

でも、自主的協力的行動をとるケースも起こり得る。なぜならば、犯人は将来のことを考えて、もし自分が自供すれば、互いの信頼関係が崩れ、将来は相手も協力してくれないという心配があるために協力的行動をとることがあるためである。この事例で地球環境問題を考えてみると、もし、各国の将来を考えて、互いに自主的協力的姿勢をとることは自国にとってベストではないかという考えがある。短期的(静学的)ゲームの中の非均衡の結果が、長期的(動学的)ゲームの中の均衡になることはあり得ることである。地球環境問題を解決するために国際合意が必要であるという考え方が支配的な中で、異議を唱える議論の根拠はここに由来している。

国際間の合意をなぜ必要とするかという分析は、これまでの静学的(短期的)なゲーム(繰り返しのないゲーム)で研究されてきたが、動学的(長期的)なゲームでこの国際合意の必要性を分析する研究は少ない。人類が将来の世代を完全に無視して、現在の短期的な利益を追求するだけならば、静学的なゲームによって国際合意の必要性を分析することで十分であるが、これは非現実的である。もし、人類が将来の世代を完全に無視すれば、地球温暖化のような地球環境問題は提起されない。国際合意の必要性を論証するには、もっと説得力のある動学的モデルが必要となる。

本論文では、地球環境問題に関する国際合意(条約)がない限り、各国の政府が自国の長期の利益を追求しても(動学的なゲーム)、自主的協力的均衡解が得られず、その結果、地球環境問題の解決はできないと論じる。本論文は複雑な現実からシンプルな分析モデルに抽象化する。このシンプルなモデルでは現実の世界より自主的協力的結果が得られやすい。もし、自主的協力的結果がこの抽象化されたモデルの中から得られないならば、現実世界の中では、自主的協力的結果は一層得られないことになる。これによって、地球環境問題を解決するために、国際条約が不可欠であると論ずる。

本論文はゲーム理論で地球環境問題を分析する。本論文は5つの章によって構成されている。第1章は地球環境問題の定義及び本論文で扱っている地球環境問題の限定(大前提)を明示する。さらに、本論の目的、研究方法が第1章に含まれる。第2章は一国の場合は政府がどうやって環境問題を解決するかを分析する。各国の政府が自国の行動基準を設定

することができるから、各国の政府は自国の代表として国際ゲームの中でプレーができる。第3章は世界が多数の国によって構成されている現状で、なぜ地球環境問題が生じるかを分析する。静学的なゲームでは世界にとっての望ましい環境基準を維持するには活動を規制することが必要であり、それは国際条約に依存しなければならないことを示す。しかし、地球環境問題を解決するための国際条約(合意)の形成は非常に困難であることを併せて論証する。第4章は本論文のメインである。長期の動学ゲームのなかで、自主的協力をとることはパーフェクト均衡でないことを示す。つまり、地球環境問題を解決するために国際条約が不可欠であることと論じる。第5章は本論文のまとめである。

われわれのモデルでは、パレート非効率の問題は自主的な行動によっても解消できないし、国家間の対話のみによっても国際環境問題は解決できない。国際条約は地球環境問題の解決にとって不可欠な条件である。もちろん、本論文は国家間の対話の役割に対して否定的な立場をとるものではない。国家間の対話は国家間の信頼を増やし、これに基づいた国際間の協定を締結させる役割がある。しかし、協定につながらない対話は国際環境問題を解決できない。

本論文は自主規制(フリーライダーの解消)の可能性に関する研究である。つまり、国際環境問題を解消するために国際条約が不可欠であることを論証する。国際条約をどのようにして締結するかは、本論文のテーマではない。国際環境問題の解決に向けて国際条約を締結することはそれほど簡単な問題ではない。しかし、この厄介な問題は避けることができないものである。難しいから避けるという考え方は基本的に間違っており、これが本論文の分析結果のインプリケーションでもある。

第1章 序 論

1. 地球環境問題の限定と特徴

環境は、人間活動にとって、2つの大きな役割を果たしている。その1つは人間活動に対する資源を供給することである。第2の役割は、人間活動から生じるさまざまな不要物を受け入れ、分解し、還元するという、いわばゴミ処理場としての役割である。人間の経済活動が低いレベルの時、この2つの役割は特に認識されておらず、空気、水などは自由

財として扱われていた。特に、第2の役割は人間の経済活動が低いレベルの時、あまり意識されてこなかった。まるで無限な能力があるようにとらえられていた。しかし、人間の経済活動が拡大するに伴って、不要物は環境が吸収できる能力を越えて排出されてきた。環境がこれまで担ってきた機能を破壊してしまうような環境問題が発生してきたのである。これに伴い、環境が生む便益は減少し、不利益が増大してきた。

これまでの研究では、地球環境については以下の問題を論じている^{61),77)}。第1は、フロンガスによるオゾン層の破壊や、化石燃料の使用によって生ずる地球温暖化のように、その影響が地球上すべての人間に及ぶ地球環境問題である。熱帯雨林の乱開発によって地球上の炭酸ガス吸収能力が低下し、それによって地球の温暖化が進むといった環境への影響もこのタイプの地球環境問題である。

第2は、ある活動による環境への影響が地球上のすべての人間に及ぶほどではないが、国境を越えて異なる国の人々に影響を及ぼすタイプの問題である。例えば、ヨーロッパにおいて、特に問題になっている酸性雨による森林破壊はこのタイプの地球環境問題である。このケースは、ある国の経済活動によって生じた硫酸酸化物が、国境を越えて他の国に酸性雨を降らせ、その国の森林を破壊することのように、環境を破壊する国民とその破壊から影響を被る国民とが異なる場合である。このように、環境破壊の加害者と被害者の国民が異なる場合には、環境破壊の被害が国内にとどまる場合とは異なる特殊な問題が生ずる。この意味で、このタイプの環境破壊も地球環境問題である。

第3のタイプは、貿易や直接投資に伴って他の国の国民が環境破壊による影響を被るケースである。例えば、先進国では既に使用禁止になっているような化学物質を、製品の中間材料として使用し、その製品を輸出することによって禁止物質を輸出しているのが、このケースである。ある国の直接投資によって投資の受け入れ国で公害が発生するケースもこのタイプに含まれる。

以上3つの地球環境問題のタイプは互いに異なっている。第3のタイプの地球環境問題は公害の原因となる物質を輸入する国が輸入製品を規制したり、直接投資による経済活動を規制することによって対処可能である。すなわち、公害の輸入国は公害の輸

入を規制する手段を独自にとりうるもので、環境破壊に関して公害を輸出する国と交渉したりする必要は本来存在しない。第2のタイプの地球環境問題は被害国だけでは解決できない。しかし、公害を発生させる国によって生み出された公害はこの国の周辺隣国にとどまっている。物理的には、この国から遠ければ遠いほど受ける被害は少なくなる。更に、この被害の原因物質として硫酸化合物を例にとると、これは競争的な性質を持っている。つまり、総量が一定であるので、ある特定の地域でたくさん酸性雨が降るならば、他の地域で降る可能性が少なくなる。このケースは公害が完全な「公共財」の性質を持っていないことを示している。第1のケースは他の2つのケースと異なる。このケースの被害は全地球的規模であり、異なる地域からの有害物質は地球環境に対して同じ悪影響を与える。さらに、この問題は、「純公共財」(pure public goods)の性質を持っている。この問題の解決は全世界の国々で、対話し、協力し合うことによらなければ解決にはならず、一国の努力によって、問題の解決を図ることはできないし、一部の国々によっても、問題の解決ができない。明らかに、これら3つのケースの性質は全く異なっている。1つのモデルでこれらの問題を分析するのは不可能である。本論文で対象とするのは第1のケースに限定する。しばしば、地球環境問題と国際環境問題とは混同されてきた。地球環境という用語は、1980年後半から登場するようになった。そのきっかけはフロンガスによるオゾン層の破壊であったといえる⁷⁹⁾。しかし、フロンガスに関しては、解決のための合意が国際間である程度形成されたこともあって、今や焦点は炭酸ガスによる地球温暖化問題へと移ってきた。このフロンガスによるオゾン層の破壊と炭酸ガスによる地球温暖化に共通していることは、フロンガスと化石燃料の使用による環境破壊の被害が、地球規模で生じている点である。本論文が指摘している地球環境問題は、まさにこの意味においてである。

2. 汚染の現状

近年、地球温暖化、オゾン層の破壊などの地球環境問題が大きな課題になってきた。工業化・都市化によって、化石燃料の消費量増加によって大気中における二酸化炭素を中心とする温室効果ガスの蓄積が年々増加してきた。

地球の経済的及び環境的な健全さを示すエネル

ギーの消費動向を知ることが重要である。1950年から1979年の間に世界の化石燃料消費量は4倍になった。石油は最も使い道が多岐に渡り、輸送にも便利な化石燃料であるため、世界の主要エネルギー源として石炭にとって変わり、消費量が増加してきた。この間に世界経済は約4倍に成長したが、これは化石燃料の消費量の伸びに比例していた。農業生産は石油消費量を5倍に増やし、食料生産を2倍以上にした。全世界の自動車の生産台数は800万台から3100万台へと増加した。また、発電量は8倍となった⁸³⁾。

1979年から1985年にかけて、世界のエネルギーの伸び率は低下し、平均して年率1.5%となり、経済成長率を下回った。このエネルギー消費の伸び率の低下は石油価格の急騰により石油消費量が減ったことによる。多くの国々はよりコストの安い、しかも汚染物排出量の多い固体燃料(石炭)に転換したことで、石油の消費量減少は相殺されてきた⁸²⁾。

1986年からの傾向を見ると、世界の石油消費量が再び増加しはじめ、石炭消費量も引き続き伸びてきた。国際エネルギー機関(IEA)は2000年までに加盟国の石炭による火力発電容量が、32%増大するとの予測をしている。1980年代の初頭までに発電や、自動車の排気ガスなどにより毎年50億トンの炭素、1億トンに近い硫黄と、これと相当する窒素酸化物が大気中に排出されてきた⁸⁴⁾。炭素の排出量はほぼ世界のエネルギー消費量と比例している。石炭への移行は石油、天然ガスよりも炭素の排出を加速化することになる。80年代から炭素の排出量が再び上昇し、気象学的な根拠に基づいて炭素排出量を減少させる必要性が指摘されているが、実際には排出量が増えている。

地球の大気温度は、周期的な変動によって大きな差があるが、これらの変動要因を除いて、全地球の平均した地表温度の平均気温の長期変動は、過去100年間に0.3~0.6℃上昇したというのが科学者のほぼ一致した見解となっている⁴⁹⁾。海洋面の上昇、降雨のパターンの大きな変化、砂漠化など温暖化によってさまざまな被害が発生してきた。このように現在予測されているだけでも、温暖化による被害は全地球に及び、単に現世代の人々が直接、間接にその被害を受けるだけでなく、将来の世代も避けられない。

地球温暖化は「温室効果ガス」が地表面からの赤

外線の宇宙へ放射を阻害することによって起こっている。「温室効果ガス」の主なものは二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素等である。このうち、最も大きな役割を果たしているのは二酸化炭素である⁶³⁾。

大気中の二酸化炭素濃度は、産業革命以前には275～280 ppmの水準であったが、現在355 ppmを越えている。1880年から1958年にかけての年間上昇率は0.3～0.5 ppmであったのに対して、1958年から1988年にかけては、年間1.2 ppmの割合で上昇している。仮に、このような趨勢で上昇が続くとすれば、2050年頃には560 ppmとなり、産業革命当時の2倍の水準にまで上昇することになるであろう⁴⁹⁾。

温暖化によって、農業と海水面に対し最も重大な影響が現れると予想される。気候に何らかの変化が

起これば当然代償を払わねばならない。1987年版の「地球白書」⁸³⁾によれば、気温の上昇によって降雨パターンが変わると、灌漑と排水のシステムの建設費用は約2000億ドルの投資が必要になる。また

表1-1 世界エネルギー使用量の推移

		石油換算 単位 万トン	
年度別	エネルギー量	年度別	エネルギー量
60年	287992		
64年	339394	66年	375054
68年	409093	70年	465527
72年	503992	74年	538716
76年	561020	78年	595591
80年	587883	82年	579732
84年	609063	86年	652530
88年	700925	90年	719981

資料：文献⁷⁵⁾による。

表1-2 エネルギー・化石燃料と国内総生産の関係

国内生産額の単位 100万米ドル (1985年)
エネルギー 石炭換算 単位 千トン

		85年	86年	87年	88年	89年	90年
日本	国内生産	1343251	1378175	1434680	1523630	1595241	1671813
	エネルギー	456862	444915	445245	480086	49138	512110
	化石燃料	426278	413500	412083	446196	456680	475278
インドネシア	国内生産	87337	92489	102201	102712	110415	118586
	エネルギー	45520	47294	45997	47824	56194	57639
	化石燃料	44739	46403	45025	46773	55112	56514
韓国	国内生産	92925	104447	116981	130434	138521	151265
	エネルギー	66774	68853	74916	87353	93470	105850
	化石燃料	64268	64882	69430	81989	87092	98572
中国	国内生産	290360	312717	344614	383556	397364	416437
	エネルギー	727818	766788	800947	841375	902468	922183
	化石燃料	716337	755033	788508	827787	888832	908430
アメリカ	国内生産	4038700	4151783	4276337	4447390	4554127	4604223
	エネルギー	2283453	2280237	2366484	2471986	2500134	2481686
	化石燃料	2194821	2186920	2271577	2373317	2397834	2372678
カナダ	国内生産	350048	361599	377148	394497	404359	406381
	エネルギー	251703	249715	258245	274216	285490	271909
	化石燃料	211912	206966	215299	229676	241026	226537
イギリス	国内生産	461421	479877	501952	523034	535064	540414
	エネルギー	275113	281889	285301	285439	288699	286525
	化石燃料	267676	274094	276320	275213	277527	276114
フランス	国内生産	523094	536171	548503	572637	596688	609815
	エネルギー	221885	212478	211978	207838	219154	222741
	化石燃料	191091	178420	174020	168826	180748	182698

資料：文献^{71),76)}による

気温の上昇によって、海水面の上昇が予想される。海水は温度が上昇するにつれて体積が膨張し、温暖化による氷山の融解によって、2100年までに海水面が1.4から2.2メートル上昇すると予想されている。最大の被害を受けるのは低地の沿岸と河川のデルタ地帯である。

地球の温暖化によって、生物の種の多様性にも影響が出てくる。気候変化が突然やってくるため、多くの生物は温度上昇、あるいは気候のパターンの変化に適応できないであろう。気候変化が具体的にどのような影響を及ぼすかについて、正確に予想するのはむずかしい。しかし、人類と他の生物は気候条件の変動が小さな中で進化してきたので、この条件が大きく変わることはきわめて困難な状況をもたらす。

人為的な要因に基づく二酸化炭素の排出のうち、最も大きなものはいうまでもなくエネルギー関係である。人々の生活レベルが向上するに伴い、必要エネルギー量の増大から化石燃料の使用が増え、二酸化炭素の発生も上昇してきたが、特に1960年代以降における二酸化炭素濃度の急上昇が注目される。国別の1人当たり二酸化炭素年間発生量でみると、各国とも経済発展とともに1人当たり二酸化炭素発生量が増加している。世界エネルギー使用量の推移を示すデータは表1-1である(註1)。国内総生産とエネルギー使用量・化石燃料使用量との相関関係は表1-2に示す(註2)。

3. 問題意識及び分析方法

環境問題が地球的規模で生ずるということは国家単位で物事を決める国家主権との関わりで重大な問題をもたらす。すなわち、地球規模で環境破壊が生ずる場合には、その対策に関して必然的に国家間の対話、交渉ないし協力の必要性が生ずる。この意味で、地球環境問題の本質は、人類の生存に関わる問題であるとともに、環境破壊の加害者(国)とその破壊によって影響を被る被害者(国)とで、国が異なる特徴がある。地球環境問題に最も特徴的な性格は、関係者間の合意形成の困難性である。

主権国家は自国の国民の利益を目的としている。このため、他国からの公害のような領土内に生じる不利益には敏感であっても、自国の利益の追求に伴って国外に不利益が生じることは鈍感である。世界は、基本的にはこうした性格を持つ主権国家によって分割、統治されている。地球環境問題の解決

が困難な理由は、国益だけを追求する目的と地球環境を守る目的が、必ずしも両立しないことにある。

地球環境問題の場合には、化石燃料の使用によって地球温暖化が起こる場合のように、その影響は化石燃料を使用する国にとどまらず、他の国(すべての国ともいえる)に広く及ぶ。従って、地球環境問題の対策には国家間の対話、協調が必要である。この意味で、地球環境問題は極めて解決困難な国家間の利害対立という問題を抱きかかえている。

例えば、もし、各国に対して現在の生産活動を基準としてすべての化石燃料を半減させると想定して見よう。その結果、途上国は、もっと貧しい生活状況に置かれることになる。途上国にとっては、地球環境問題は、これまで先進国が自由な経済活動を行ってきた結果であり、その解決に当たって、何の責任もない途上国まで負担を課すのは不公平であるとの見方が支配的である。途上国では、地球環境のための制約が熱帯林などの自国の資源の制約にまで及び、これを自由に開発できなくなることに對しては特に強い反発がある。経済社会条件を異にした国々との間の利害の不一致を背景にして、対策実施のための国際的ルールづくりの方向はなかなか一致しない。各国が経済規模に応じて地球環境破壊の原因に責任があるという状況を想像してみよう。もし、各国に人口の割合に応じて一定の放出量を許可する基準を設定すれば、先進国であるほど、対策の実施によって他国に比較し一層大きな経済的負担が課され、国益が大きく損なわれるのではないかという心配が生まれる。また、一部の国がリーダーシップを発揮して、地球環境に優しい政策をとるならば、これらの国はこのような決断をする前に、まず、世界のすべての国が対策を実施するとの保証を求めるかも知れない。地球環境改善策による利益は地球全体に及ぶので、自国では対策をせずに他国の対策を期待する「フリーライダー」が出現する可能性がある。先進国のこの考えには一理ある。先進国でも、アメリカのように比較的経済成長志向的な国と、ヨーロッパ諸国のように環境保全的な国とでは、地球温暖化に対する政策に関して鋭い対立が見られる⁶⁹⁾。

理論上、地球環境問題は、単なる資源の分配の問題だけではなく、不確実性の問題である点も地球環境問題の解決を困難にしている一因である。この不確実性は地球環境問題に特別なものではない。しかし、国際間で目下問題となっている環境問題は、地

球温暖化に代表されるように不確実性が特に大きいという点に特徴がある。このようにある経済活動の環境への影響は極めて不確実であり、どのような影響が現れるかを予測することは難しい。更に、その中では、環境破壊にもなって発生する被害額を推定することは極めて困難である。環境破壊の被害額が推定できない場合には、経済活動を効率的にする基準に基づき、どのような水準に経済成長を抑制する必要があるかを知ることは出来ない。確実な科学的な推定が出来ない以上、各国の認識に差が出てくる。これは、更に各国間の合意の形成に困難な要因を与える。本論文は地球環境問題を解決するために国際合意の必要性について分析することが目的であ、この不確実性の問題は扱わない。もちろん、国際合意の問題と不確実性の問題とは分離できないが、これらの問題を同時して処理するのは極めて困難である。

国家間と同じように世代間の対立も生じる。地球環境問題の原因はもっぱら現世代の責任であり、将来の世代の責任ではない。しかし、その影響のほとんどを被るのは将来の世代である。最近の研究によれば、地球温暖化により深刻な悪影響が生じるのは21世紀の後半以降と予測されている。これは、現世代のほとんどがもう生存しない時期である。このため、現世代が自らの生活の質を低下させて地球温暖化対策に取り組むインセンティブは小さい。

地球環境問題の解決に関する合意が非常に難しいのは、国際間の協調がゲーム理論における Nash 均衡ではないからである。国際間の協調は協力ゲームの結果である。協力の結果を実現することは困難なことが多い。協力がすべての国にとって有利であるか、もしくは、一国にとって協力行動をとることが、自国にとって損失をもたらすのであれば、合意は達成できない。さらに、すべての国にとって協力が有利であっても、協力の結果は明らかでない。協力の結果は無数の解があり、どのようなパターンの協力をするか、協力によって得られる利益をどのように分配するか、という問題も解決しなければならない。しかし、協力の結果が非協力ゲームの Nash 均衡であれば、問題は簡単なり、関係国の対話のみによって解決することが可能となる。つまり、多数の Nash 均衡の中で、協力ゲームの結果と同じ Nash 均衡をとることができる。フリーライダーの問題も避けることができる。あるいは一部の国の事

前宣言によって、合意がなくても、あたかも協力する結果が得られる。

この考えは一見して不可能に見えるが、ここでは古くからの囚人のジレンマというゲームを想起させる。共同犯罪の2人の犯人が検事に容疑者として捕まえられ、別々に事情徴収される時、検事が自供を誘うため「あめ」(有利な条件)を与えても、必ずしも犯人は検事の意思に沿って自供するわけではない。勿論、自供するケースもあるし、自供しないケースもある。ここでは自供するのは非協力の行動(犯人の間で非協力)とし、自供しないのは協力の行動と考えてこのゲームをプレーすると考える。このとき2人の犯人の間で、この非協力ゲームの中においても、協力の態度をとるケースが起こり得る。なぜならば、犯人は将来のことを考えて、もし今自分が自供すれば、互いの信頼関係が崩れ、将来は相手も協力してくれないという心配があるから協定がなくても協力的になる。この事例で地球環境問題を考えてみると、もし、各国の将来を考えて、互いに協力姿勢をとることは自国にとってベストであるという判断がある。地球環境問題を解決するために国際合意が必要であるという主張に対して、異議を唱える由来がここにある。本論文では、各国が地球環境問題対策の議論の中で、自主的に協力の政策を取る可能性について分析を行うものである。すなわち、自主的な協力が可能であれば、地球環境問題の解決のためには、国際条約がなくても解決できるという可能性について分析するものである。

本論文は非協力ゲーム理論を用いて地球環境問題の解決の可能性について研究を行う。世界は多数の主権国家によって構成されており、これらの国家の上に、超国家の政府は存在していない。各国の行動はその国の政府によって定められている。ここでは、各国の政府は国際ゲームの中でプレーヤーの役割を演じている。環境問題に関する国際合意が形成される以前には、各国は法的な責任を持っていないので、各国は非協力ゲームのベースでプレーしている。この非協力ゲームで、協力ゲームと同じ均衡結果が求めれば、この結果を達成することは難しくない。しかしこのような均衡が存在しなければ、地球環境問題の解決のために、国際合意が達成できるかどうかに関わらず、国際合意(国際条約)が不可欠となる。

国際合意をなぜ必要とするか、これまで、静学的

なゲーム(繰り返しのないゲーム)で分析した研究があるが^{1),3),7),19),26)}, 動学的な(長期的な)ゲームでこの国際合意の必要性を説明した論文はほとんどない。人類が完全に将来の世代を無視して, 現在の短期的な利益を追求するだけならば, 静学的なゲームで国際合意の必要性という問題を分析するのは十分であると思われる。しかしこれは非現実的である。なぜなら, もし人類が完全に将来の世代を無視すれば, 地球温暖化のような地球規模の環境問題とはならず, 提起されない。国際合意の必要性を論証するためには, 説得力のあるモデルが必要となる。

本論文は, 地球環境問題に関する国際合意(条約)がない限り, 各国の政府が自国の長期の利益を追求しても(長期的なゲーム), この地球環境問題が解決できないと論証するものである。本論文は, 現実的な世界に基づき, 分析モデルを抽象化する。この抽象化されたモデルは現実世界より協力結果が得られやすい。しかしながら, 協力の結果はこの抽象化されたモデルによっても得られないことが理論的に導かれる。これによって, 現実世界の中で, 地球環境問題を解決するためには, 国際条約が不可欠であることを論証する。

経済理論からみると, 温暖化をはじめとした地球環境問題は, 外部効果ないし公共財に基づく「市場の失敗」である。経済活動にともなう温暖化ガスの放出は現在及び将来の世代の人類の生活環境を悪化あるいは破壊させ, その経済活動を行う当事者自身にその費用を負担させる仕組みが存在していない。その結果, 地球全体からみれば, 過剰な二酸化炭素量が放出されることになる。

ここでは経済学上の環境問題(汚染問題)は物理的な環境問題と関係しているが, 決して同じ意味ではない^{33,60)}。物理的な環境問題とは人間の経済活動により出された有害物質が環境を変化させて, それに逆に人間の活動に被害を与えることである。この環境問題の原因は直接的に人間の活動により出された物質である。この意味で, これらの物質を除去できれば, あるいはこれらの物質を排出しなければ, 物理的な環境問題は発生しないであろう。しかし, これらの物質を除去するためには, 新しい物質を出さなければならない, あるいは, 他のところで使われていた資源を使わなければならない経済問題が生じる。またこれらの物質を完全に出不さないように, 人間の経済活動を完全にストップしなければならない

い。明らかに, 人間の経済活動を完全にストップするという状態は望ましくはない。ここで言う経済学上の環境問題とは人間社会にとって汚染物質を最適水準以上に出せば, これらの物質により自然環境を悪化させるという環境問題である。本論文は経済学上の環境問題を扱う。

分析手法として, 前提から帰納された仮説に基づいて, 分析の対象を抽象化することは何より重要である。本論の第1章は分析上の大前提を限定とする。後の各章のはじめに, 分析の前提を明確にする。

4. 既存の研究

環境問題は益々深刻になっており, 経済学で扱っている環境は財として非競合な性質もっている。いわゆる外部性の問題である。周知の通り, 非競合財は自由市場によって効率的分配は実現できない。これによって環境財の過剰の利用の問題, いわゆる環境問題が生じる。環境経済学の中で最も知られている Pigouvian Tax は, この外部性を租税一補助金の政策で内部化をすることによって, 環境財の最適分配を実現させるための理論である。普通の環境経済学教科書^{33,37,43)}はほとんど, この Pigouvian Tax をどう設定するかを分析している。汚染者にかかる税金はこの汚染者が排出した汚染物の外部の不利益(金額表示)とイコールとなる。これが Pigouvian Tax である。たしかに, Pigouvian Tax の政策が実施されれば, 環境財の最適の分配は実現される。しかし, 国際環境問題の中では, 誰がこの Pigouvian Tax 制度を実施するかが問題となる。国際合意がなければ, Pigouvian Tax 制度は実施できない。つまり, Pigouvian Tax 制度で環境財の外部性を解決できることは, 国際合意が成立していることを前提としている。

環境経済学者の多くは国際環境問題を分析するに当り, 国家利益のための戦略, 協力, 衝突, 交渉の行為に注目すべきであると強調している^{13),16),20),35),42)}。環境問題を分析する場合, 環境に関する利益の衝突を捉えるモデルは, 重要である。環境に関する利益の衝突をモデル化するにはゲーム理論が最適である。ゲーム理論は意思決定者間の戦略関係および利益関係に焦点を当てている。ここで利益の衝突を注目するのは Pigouvian Tax およびこれに基づく政策を否定するためではなく, この政策を実施する前提条件を明らかにし, この政策が実行できるように

する“事前的”な分析をするためである。

ゲーム理論は新しい理論であるが特に、80年代に入って大きな進展があった。ゲーム理論で環境問題を分析した業績は80年代の後半数多く公表された。本節はゲーム理論による地球環境問題分析をサーベイし、本論文の位置付けを行う。

ゲーム理論の概念で国際環境問題を分析した初期の研究はBradenとBromleyによる論文⁷⁾である。この論文はゲームという言葉を使っていないが、この論文では、二カ国を特定して、完全拡散性(完全非競争性)の汚染物質を対象として分析し、はじめにPigouvian Tax制度が簡単に国際環境問題に適用できないことを意識している。一国の司法権が他国に及ばないためにPigouvian Tax制度は自国領内しか実行できず、双方が汚染物質の放出者に独自の税金をかけても、両国から排出された汚染物質(Collective Bads)が最適(パレート効率)な結果よりも大きくなる。ここで環境問題(経済学での意味)が発生する。BradenとBromleyの論文は当時公共財(Public Goods)における分析方法をはじめ公害問題(Public Bads)に適用し、国際環境問題が環境についての利益衝突が根本の原因で、かつ、衝突がある両国に対して集権的な権力機関が存在しないという特徴をモデル化している。しかし、BradenとBromleyのモデルは静学的なモデルであり、また、放出された汚染物質の累積効果が考慮されていないし、戦略についての動学的な特性も分析されていない。

地球規模環境問題について国際間の協力あることが非協力より良い結果が得られるという結論はよく知られており、かつ自明な良識である。しかし、分析はようやく1991年のScott Barrettの論文³⁾とHoelの論文¹⁹⁾で行われた。BarrettとHoelとともにゲーム理論の手法で地球環境問題を明確に分析している。Barrettは国家の数が多くなると、国際合意は難しくなり、合意自体の有効性も薄くなり、フリーライダーの願望は強くなることを論証した。これは重要な研究である。ゲーム理論で国際環境問題を研究するとき、しばしば分析を容易にする目的で二カ国に抽象化される。Barrettの研究成果は二カ国のモデルの有効性を確定したことである。つまり、二カ国のモデルの中で、国際合意ができなければ、現実世界(多国世界)の中で、国際合意ができない。二カ国のモデルの中でフリーライダーが避け

られないならば、現実世界の中でもフリーライダーが避けられない。もちろん、逆の推論は成立できないが、Barrettの研究により、二カ国のモデルの重要性が再確認された。Barrettは、国際合意ができるかどうか、フリーライダーが避けられるかどうかについては結論を導き出していない。国家の数とともに難しさが増加されることを指摘したのが要点である。

Hoel¹⁹⁾は、二カ国に抽象化して、静学的なモデルで、国際協力の結果と非協力の結果を比較した。非協力の場合の環境質は常に協力する場合の環境質より悪くなる。国際合意が達成する前に、二カ国の中の一国が独自に改善策を取ることによって、地球環境問題は若干改善されるかという点については、必ず改善されるとは言えないという結論を導いている。さらに、国際合意が達成される前に、一国が先に独自の改善策を取るならば、将来に地球環境問題に関する国際交渉の場で、自国が不利な立場に置かれるという恐れがある。従って、地球環境問題に関する国際合意がなければ、独自の改善策を取ることは不可能であるという結論が引かれる。Hoelのモデルは静学的なモデルである。ゲーム理論において、静学的ゲームの結論は動学的ゲーム(繰り返される)の結論と結果が異なる。静学的ゲームが現実から大きく離れる可能性は大きいので、静学的ゲームで国際合意が必要であると結論付けるのは不十分である。

動学ゲームおよび微分ゲームは60年代に注目された。しかし、初期の微分ゲームはほとんどがゼロサムゲームであり、経済学の分野での応用価値は非常に限定されている^{18,21)}。80年代に入って非ゼロサムの動学ゲームが大きく発展した⁴⁾。微分ゲームを環境問題に応用した研究は80年代後半から数多く公表された。しかしながら、80年代後半は、微分ゲームにより環境問題を研究するよりむしろ環境問題を素材にして微分ゲームを研究する傾向が強い^{2,8,22,28)}。この時期の研究はほとんどゲームの構造、解の型など数学理論を中心に研究されてきた。動学ゲームおよび微分ゲームによって本格的に環境問題が研究されるのは90年代に入ってからである。

N. V. Long(1992)の論文²⁵⁾は微分ゲームによって二カ国によって構成された国際環境問題についての研究である。Longは対等格の二カ国だけではな

く、1つの国がリーダー格で、他の国がフォロワー格である、いわゆる Stackelberg モデルについて研究し、さらにこれらのモデルの結果を協調ゲームモデルの結果と比較した。対等格の二カ国にしろ、非対等格の二カ国にしろ、安定した環境質は常に協調の場合の安定した環境質より悪く、非協力ゲームの均衡の結果はパレート最適な条件を満たさず、さらに、非対等格の二カ国の場合は対等格の二カ国の場合の環境質より悪いとの結果を得ている。この結果は寡占理論の Stackelberg モデルと Cournot モデルの関係に似ている。Long の論文は Open-Loop の戦略のみのゲームを研究した。Open-Loop の戦略は自国の環境政策が純粋な時間スケジュールのように、相手国が途中で戦略を乗り換えても、自国の戦略（環境政策）が絶対に変わらないという前提をとっている。これはあまりにも現実と離れすぎており、現実に対するインプリケーションは少ない。

Michael Hoel (1992) の論文²⁰⁾ は Open-Loop についてだけでなく、Markov 戦略についても研究した。Markov 戦略は一国の戦略が時間のスケジュールだけでなく、状態（環境質）にも反応することを意味している。Hoel は静学 (one shot) モデルでの最適税率は、動学モデルの中では必ずしも最適でないと述べている。その理由は、長年にわたって各国が放出した二酸化炭素が累積の効果を持つからである。Hoel のモデルでは自然が二酸化炭素を吸収（浄化）する効果が考慮されていないことは多くの学者から指摘されている。

Karl-Goran Maler (1992) の “Critical Loads and International Environmental Cooperation”²⁶⁾ は、環境質の概念は長期に放出された汚染物の累積の量だけに左右されたものではなく、環境は自ら浄化の能力をもっているので、この浄化率を考慮しなければならないとしている。ここで、Maler は生態系の概念を導入した。彼は大変異を避けるために、各国は自主的に協力するインセンティブを持っており、暗黙に国際条約がなくても、協力の結果が得られか、あるいは、合意が成立しやすいと論じた。

ゲーム理論は地球環境問題を研究する分析理論であると同時に、理論経済学分野を大きく発展させた。その1つは線形2次系の微分ゲームである^{12,17,47)}。線形2次系の微分ゲームでは、目標関

数は2次関数で、状態の変化を表す式は線形微分方程式である。任意の連続的なシステムは線形2次系で近似で表すことができるから、線形2次系の微分ゲームはよい近似モデルと考えられる。しかし、線形2次系は数学の単純性によって、具体的な解が得られやすく、現実のインプリケーションが豊かであるというメリットがある。線形2次系微分ゲームによって地球環境問題を研究した業績は、Engelbert J. Dockner and Ngo Van Long の “International Pollution Control: Cooperative Versus Noncooperation Strategies”¹⁰⁾ がある。線形2次系微分ゲームのモデルで、両国とも線形戦略に限定されるならば、Markov 均衡の結果は非効率であり、国際環境問題が発生することが示された。しかし、両国とも非線形戦略が「許される」(複雑な計画ができる)ならば、協力のような結果（パレート効率）は自主の計画により達成できる。つまり、両国が会話によって協力ゲームのような結果を達成できる戦略を決めており、それぞれの国にはこの戦略に違反するインセンティブが存在しないことになる。かつ、この戦略を決めるのは両国にとって望ましいので、この戦略を決めることは困難でない。地球環境問題に関する条約がなくても、地球環境問題が解決できることを結論づけるのである。

5. 論文の構成

第1章は地球環境問題の定義及び本論文で扱う地球環境問題の限定について明示する。地球温暖化に代表される地球環境問題がどのように生じたかによって経済活動との関わりを提示し、地球環境問題を巡って国家間の対立が生じることを指摘する。さらに、本論の目的、研究方法はこの第1章に含まれる。

第2章は一国の場合、政府は如何にして環境問題を解決するかを分析する。この章はこの領域の研究をサーベイしながら、これまでの研究を整理する。この章の分析は静学的な分析手法である。分析モデルは単純なモデルと複雑なモデルとに分けられる。単純なモデルは問題を分析するには有効であるが、分析にはあまり役立たない。モデルの過度な抽象化は問題の本質を失ってしまっており、あるいは仮定の由来を見えなくしてしまう。モデルが過度に複雑なものは、総合的な（一般的な）環境問題の分析には必要である。しかし、本論文の地球温暖化のような特殊な環境問題に対しては複雑過ぎる。仮定が少な

れば少なほどモデルは現実に近い。しかし、複雑すぎるモデルから得られた結論はあまりに実り少ない。第2章は、問題を完全拡散のような汚染物による環境問題に限定する。これによって政府がなぜ介入を必要とするか、最も効率的な介入手法は何かを分析する。第2章の重要な目的は政府がどのようにして国内の環境をコントロールし、自国の環境基準を決めることができるかということである。これは論理上重要なプロセスである。もし、政府が国内の環境基準（例えば、年間二酸化炭素の放出量）を決めることができなければ、地球規模環境問題を解決するための国家政府間の話し合いは意味を持たないことになる。各国の政府は自国の代表としてこのゲームのプレーヤーである。これには政府が自国の環境基準を決めることができるという前提が必要である。

第3章は政府が自国の汚染物質の放出量をコントロールできるにも関わらず、なぜ地球環境問題が生じるかを分析する。第2章では世界が一国政府（超国家的な政府）によって最適な環境基準を達成できると説明した。明らかに、世界にはこのような政府が存在していない。世界の全体の利益を考慮して、環境税を徴収できる政府は存在していないし、放出市場において放出権を分配する機構も存在していない。

第4章は本論文のメインである。第2章と第3章は静学的なモデルであった。このモデルは、国の意思決定者は現在の経済活動しか見ておらず、将来の世代の利益を考慮していない。この前提の下で、地球環境問題の解決のために、各国の間での合意が不可欠であるという結論は成立するが、これらの前提は非現実的である。長期の動学的なモデルで、国際条約がなくても自主規制があり得るとする説がある。しかし、第4章では長期の動学のモデルでも、国際条約が不可欠であると論じる。地球環境問題の解決のため、国際条約を必要とするか、それとも必要としないか、これは重大な問題である。もし、条約がなくても、地球環境問題の解決ができるならば、地球環境問題の解決のために、国際条約の成立に力を入れる必要がないことを意味している。逆に、条約を必要とするならば、各国の政治家たちが地球環境に関する国際条約の成立に努力しなければならぬ。条約が必要であるか否かという結論は地球環境問題の解決に糸口を与える。

第5章は本論文のまとめである。世界がもし一國

しかない場合は、この世界では国家間の貿易はない。しかし、世界には多数の国が存在し、国際貿易が行われている。国際貿易は当該国にとって重要な経済活動である。第4章では国際貿易の問題を扱ってこなかった。貿易が環境政策に対してどんな影響を与えるかについては、第5章で分析する。貿易が直接に他国の環境にどんな影響を与えるのかについては分析せず、貿易の要因を考慮して、自国の環境政策を制定するときどのような影響があるかを分析する。第5章の目的は、貿易があっても、第4章の結論が崩れないことを説明する。さらに、第5章では地球環境問題（地球温暖化）に関する国際合意の形成の可能性について述べる。

註

(註1) 文献⁷⁵⁾のデータにより、当統計の1976年以前のデータは石炭換算で、それ以降は石油換算で、ここでは一律石油換算になる。換算係数は1単位の石炭エネルギー=0.680272の1単位石油エネルギー。

(註2) エネルギー・化石燃料のデータは文献⁷¹⁾により計算された。国内生産のデータは文献⁷⁶⁾により計算された。なお、1986年以降の国内生産は1985年のドル額で年別の実際成長率により計算された。

第2章 公共財と環境問題における外部性

1. 地球温暖化と経済活動

いわゆる環境問題は、人間の経済活動の量的・質的拡大がもたらす環境への負荷が、本来自然が有している浄化能力を越えてしまうことから生じる現象である。産業革命以降の工業化の急速な発展と人口増加は、それを支えるための生産活動のみならず、化石エネルギー資源の開発・消費の飛躍的な拡大をもたらしてきた。とりわけ、二酸化炭素などが原因とされる地球温暖化とフロンガスによるオゾン層破壊によって、これまで全く汚染物質とみなされていなかった物質が地球規模の気候変動や地上生物の生存基盤の崩壊をもたらすことが明らかになった。これは地球環境問題の中でも最大の問題である。一般的に、経済活動の拡大に伴い環境への負荷は増大する。人間の経済活動は、資源の開発、精錬、生産、輸送、消費を経て、最終的な廃棄に至るまでの広範囲なプロセスに及んでおり、工業製品だけではな

く、エネルギー生産や農産物・畜産物生産も含んでいる。

経済成長に伴ってエネルギーの需要量も増大し、またそれに伴ってエネルギーの生産・消費による環境負荷も増大する。例えば、地下資源エネルギーの開発、輸送、転換、消費がもたらす自然の物理的変化、燃焼に随伴するSOx、NOx等の大気汚染物質やCO₂等の温室効果ガスの排出などである。以上の環境負荷のうち、エネルギーがもたらす汚染物質の自然環境への排出量と経済成長との関係は、以下のように分解できる。

$$\frac{\text{汚染物質発生量}}{\text{エネルギー発生量}} = \frac{\text{エネルギー需要}}{\text{GNP}} \times \frac{\text{汚染物質発生量}}{\text{エネルギー需要}} \times \text{GNP}$$

(エネルギー需要/GNP)と(汚染物質発生量/エネルギー需要)とも全くゼロにすることは不可能であるから、汚染物の発生量をゼロにするのも不可能である。

所得水準とエネルギー消費との間には強い相関がみられる。日本の経験のデータでこの関係を見ると長期的に両者はほぼ同じ変動を示しながら推移してきた(図2-1)。明治時代から今までの約130年間は、経済発展段階から言えば、ほぼ開発途上国から先進国への道のりであった。国の経済規模はもとより、産業構造、国際貿易、家庭内における耐久財、技術革新、さらにはエネルギーの相対価格など様々な変化があった。それにもかかわらず、国民所得の

成長とエネルギー需要の増大との間には大きな正の相関があった。

地球温暖化問題に関する最もインパクトの大きな環境負荷物質は、二酸化炭素である。二酸化炭素の主要な発生源は、化石燃料である。現在、人類が消費しているエネルギー総量は石油換算約72億トン(1990年)にのぼる。その9割は、石炭(30%)、石油(38%)、天然ガス(20%)等の化石エネルギーである⁷⁴⁾。化石燃料が燃焼によってエネルギーを放出して人間の経済活動に必要なエネルギーを供給する。化石燃料の燃焼は二酸化炭素を発生させる。この二酸化炭素が地球温暖化の最も重要な原因になる。

2. 環境財の外部性と市場の失敗の概念

市場組織は、個人及び企業の経済活動を組織する巨大で複雑な社会的装置である。すべての装置と同様、市場組織も万能な装置ではない。市場組織の機能がうまく作用しない原因の一つに、外部性がある。市場での取引においては、便益を得るために費用を支払われねばならない。他方、支払を受けて財やサービスが引き渡される。通常取引において、買い手はその品物の費用全部を支払うことを要求され、他方、その品物の完全かつ独占的な使用権を得ることになる。しかし時には、費用を支払うものが、便益の全部を利用し得ない場合があったり、また逆に、財貨に対する支払が生産費の全部を償わな

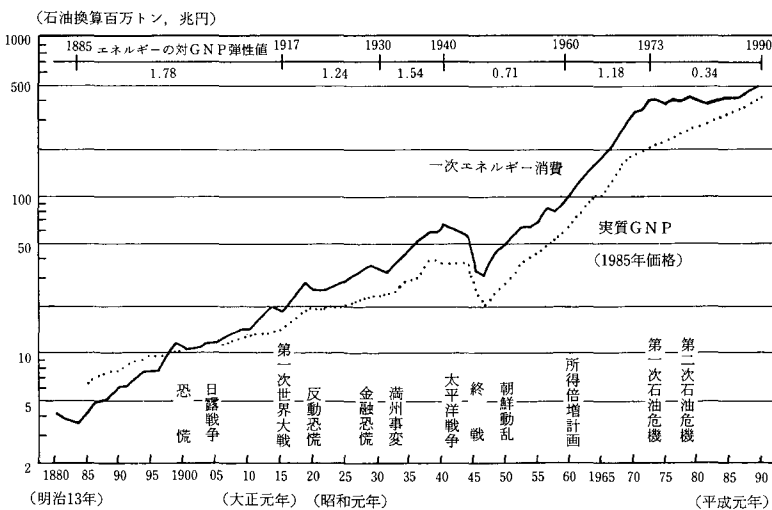


図2-1 日本の長期GNPとエネルギー消費

資料：文献⁷⁶⁾による。

い場合がある。前者の例は、ある人が鑑賞の為に自分の庭に一本の桜の木を植える場合、隣人や通行人は全く費用を払わないで桜を鑑賞できる。後者の例は、工場が産業廃棄物を川に捨てる場合、この工場は廃棄物処理の費用を支払っていない。このどちらの例においても、市場組織は有効に作用していない。前者の場合（支払う者が利益の全部を受けていない場合）には生産物（植木の量）が不十分にしか生産されない傾向がある。後者の場合には、生産物が過剰に生産される可能性がある。環境の質に関する問題の多くは、外部性の問題と見ることができる。

環境問題への取り組みに当たっては、各経済主体が自主的、積極的に、自らの活動を環境にやさしくしていくことや、環境保全のための様々な活動に参加していくことが期待される。しかしながら、環境財の持つ自由財的な性質が、このような協力を困難にしている。

環境は占有できず誰でも使用できるという性質から、個々人が他者への影響や社会全体の環境へ及ぼす影響を考慮せず、自分の利益だけを考えて行動した場合には、共有の財産である環境の長期的な恩恵を破壊してしまう問題が生じる。このような例として、「共有地の悲劇」(Common's tragedy)が引用される。これは、かつてイギリスにおいては共有地を牧草地として利用する制度があったが、皆が争って放牧した結果、飼料となる草が食べ尽くされ、家畜は期待通りに成長しなかったという事例である。地球温暖化などの環境問題も同様の問題を含んでいる。この場合、環境の恩恵が保たれるように利用した方が、長期的には便益が大きいにもかかわらず、個々人の判断ではそれが達成できないことがある。環境の便益は、環境保護の負担をする場合でもしない場合でも、等しく全員に及ぶという性質がある。このことは、個々人の環境影響への寄与が小さいことと併せて、負担をせずに便益にだけあずかろうというフリーライダーを生む恐れがある。競争の中で活動する企業にとっては、他企業に比べて多くの費用をかければ収益が低下し、競争に負ける恐れがある。ゲーム理論は、複数の者が自分の利益のために、各参加者の行動の決定によって全体が決まるという条件の下で、どのように行動し、どのような結果が得られるのかを解析する理論である。環境のゲームの中で、各参加者が協力して行動すればより

		B企業	
		対策をとる	対策をとらない
A企業	対策をとる	A企業の便益 = 8 B企業の便益 = 8	A企業の便益 = 5 B企業の便益 = 9
	対策をとらない	A企業の便益 = 9 B企業の便益 = 5	A企業の便益 = 6 B企業の便益 = 6

図2-2 環境対策について社会的ジレンマ

高い利得が得られるにもかかわらず、他者の協力が期待できないと判断して個々に合理的な決定を行うことにより、結果として利得が少ない状態で社会が安定してしまうという現象がある。これを「社会的ジレンマ」といえる。例えば、2企業によって構成される社会を仮定し、「社会的ジレンマ」の例を数値で示したものが図2-2である。

A企業とB企業は、それぞれ、環境保全のための「対策をとる」か「対策をとらない」かの選択をする。自社と他企業の選択に応じてそれぞれの企業の便益が決まる。自社で対策をとれば、費用がかかり、また、両企業が対策をとらなければ、それにより生じる環境悪化による損失を被ることになる。この場合、A企業もB企業も共に対策をとれば、それぞれの便益が8となるが、自社が対策をとっても他社がとらない場合には、自社の便益は5となってしまう。従って、相手の協力が得られるという保証がない状態で、確実に期待できる便益をできるだけ大きくしようとすれば、両企業とも対策をとらずに、それぞれ6の便益を得る。以上のような問題点を乗り越えて、社会全体の協力を確保するためには、社会的意識や経済システムの変革が必要となる。

ここでの経済学上の環境問題（汚染問題）は物理的な環境問題と関係があるが、決して同じ意味ではない。汚染物質を最適水準以上に出し、この物質により自然環境を悪化させることが経済学上の環境問題である。これが、本論文で意味する環境問題である。

まず、われわれは、単純な事例から分析する。これは一つの企業のみが生産活動をしており、生産活動とともに汚染物質を放出するケースである（図2-3）。

縦軸は限界利益を表す。横軸Qはある企業の生産活動水準を表す。曲線MPPはこの企業の「私的」限界利潤(Marginal Private Profits)を表す。「私的」利潤は、企業の私的収益から私的費用を減じた部分である。「私的」限界利潤は逓減する。

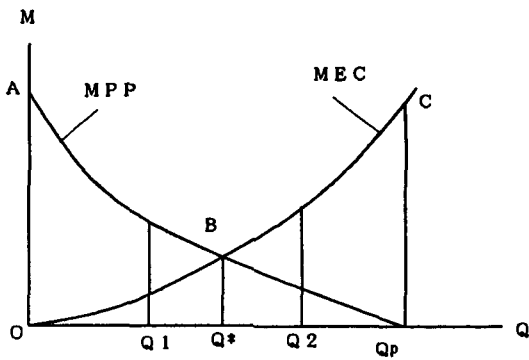


図2-3 最適生産の概念

註：生産量 Q^* を生産すれば、社会にとって最適である

利潤最大化の行動をとる生産者は限界利潤がゼロのところまで生産する。このときの生産量は Q_p である。この企業の生産活動は外部に不利益を与える。MEC は外部限界費用 (Marginal External Cost) を表す。MEC は企業が財を Q で生産するとき、 Q のもとに、さらに1単位の汚染物質が出されることによって外部に与える損害である。MPP, MEC ともに金額で表す。これらの概念は環境経済学で用いる概念である^{5,30,33,37,81)}。ここの目的は図2-3で最適、環境問題、外部性などの概念を説明することである。

まず、企業が Q^* で生産すれば、社会にとっては最適である。企業は Q^* の左側、例えば Q_1 で生産する。生産量を更に1単位を増加することによって、「私的」利潤は $MPP(Q_1)$ を増加できる。外部的な費用は $MEC(Q_1)$ と増加する。 $MPP - MEC > 0$ になり、財の1単位の増加によって、社会的な純利益は増加する。同じ理由で、 Q^* の右側で生産すれば、1単位の生産減少によって、社会的な純利益は増加する。したがって、 Q^* で生産すれば、社会全体にとっては利益が最高となる。この意味で、 Q^* の生産活動は最適である。しかし、 Q^* の生産活動によって外部へ汚染物を排出される。ここで物理的な環境問題が発生する。しかし、経済学の意味では、この水準の生産は「経済学的环境問題」が発生していない。このモデルは単純であり、多くの現象を説明することはできないが、経済学的环境問題と物理的な環境問題が異なることを明示している。われわれは「調和的」経済活動の概念を使う。この「調和的」の意味は経済活動により排出された汚染

量は自然の浄化能力を越えていない状態、つまり自然的収支バランスを崩さないという意味である。この問題は動学的な問題である。しかし、MEC が短期的な費用だけではなく、長期的にも、将来の世代を考慮した外部限界費用を含めるならば、この図によって物理的な環境問題と経済学的环境問題の違いを説明できる。具体的には文献³⁹⁾を参照してほしい。

企業が生産によって外部に損害を与えることは、負の外部性の概念である。企業が Q^* で生産するとき、企業が外部に与える損害は、 OBQ^* の面積になる。最適生産によって負の外部性を与えないわけではない。全社会にとって、この外部性は費用の点から望ましいということである。

もし、ここで企業の生産を減少させるメカニズムがなければ、企業 Q_p で生産するであろう。ここでいくつかの概念を明らかにする。

面積 OCQ_p は企業の Q_p での生産によって外部に与える不利益、つまり負の外部性の大きさである。最適生産 Q^* でも、外部に与える不利益の大きさは面積 OBQ^* である。面積 $OABQ_p$ は企業の Q_p での生産活動の「私的」利潤である。 $OABQ^*$ は、生産 Q^* にあたる「私的」利潤である。 Q_p は自由市場で企業の生産規模である。 Q^* は社会にとって最適な生産規模である。

3. 市場の失敗と政府の介入

社会の中で一つの企業だけが汚染物質を出すと想定することは、現実的でなく、モデルも単純すぎる。一般化して、財が N 種あり、企業が M 社あり、消費者が H 人ある社会を考える。汚染は財生産とともに発生する。逆に、環境汚染は企業の生産および人の生活に不利益を生ずる。生産者(企業)の生産可能集合は

$$F^k(Q_1^k, \dots, Q_N^k, E^k, E) \leq 0$$

ここでは Q_i^k は企業 k が生産する財 i の量である。注意したいのは Q_i^k が負であるか、正であるか制約のないことである。正であるとき、 i 財は企業 k で生産される。負であれば、 i 財がその企業に投入財として使われている^{24,50)}。 E^k は企業 k の生産に伴う汚染放出である。 E は環境の汚染度合(註1)で、各企業の汚染放出の和で、次の式になる。

$$E = \sum_{k=1}^N E^k$$

消費者にとって、直接効用関数は消費された財に

依存し、環境質に依存している。つまり、

$$W^j = W^j(C_1^j, \dots, C_N^j, E)$$

ここでは、 C_i^j は j 消費が消費した i 財の量であり、常に非負である。消費者の効用は消費財について単調増加関数であり、環境汚染物質ストックについて単調減少関数である。

パレート最適については、他の消費者の効用を低下させることなく、ある消費者の効用を増加させるのは不可能である。つまり、

$$\max_{C_1, \dots, C_N} W^j(C_1^j, \dots, C_N^j, E) \quad j=1, \dots, H \quad (2-1)$$

制約条件

$$W^l \geq \bar{W}^l, \quad l=1, \dots, j-1, j+1, \dots, H \quad (2-1.1)$$

$$F^k(Q_1^k, \dots, Q_N^k, E^k, E) \leq 0, \quad k=1, \dots, M \quad (2-1.2)$$

$$C_i^j \geq 0 \quad i=1, \dots, N, \quad j=1, \dots, H \quad (2-1.3)$$

$$E^k \geq 0 \quad k=1, \dots, M \quad (2-1.4)$$

$$E = \sum_{k=1}^M E^k \quad (2-1.5)$$

$$\sum_{j=1}^H C_i^j - \sum_{k=1}^M Q_i^k \leq R_i, \quad i=1, \dots, N. \quad (2-1.6)$$

制約式(2-1.1)はパレート最適の定義によって規定される。制約式(2-1.2)は全産業の技術の制約を表している。制約式(2-1.3)は消費された財が負ではないという意味である。制約式(2-1.4)は、企業が生産を行うとき、放出された汚染量は負にならない(註2)。制約式(2-1.5)は、式(2-1.2)と式(2-1.1)と同時に、異なる放出源から放出された1単位汚染物質が社会に与える影響は同じであるという意味である。つまり純粋公共財の性質をもっている。制約式(2-1.6)は、消費者が消費した財と、生産された財、生産の投入に用いられた財の三つは社会全体の賦存量によって決められることを意味する。

この問題は以下の Lagrangean function を最大化することと一致している。

$$\begin{aligned} L = & \sum_{j=1}^H \lambda_{w_j} [W^j(C_1^j, \dots, C_N^j, E) - \bar{W}^j] \\ & - \sum_{k=1}^M \lambda_{F_k} F^k(Q_1^k, \dots, Q_N^k, E^k, E) \\ & + \sum_{i=1}^N \lambda_{R_i} (R_i - \sum_{j=1}^H C_i^j + \sum_{k=1}^M Q_i^k) + \lambda_E (E - \sum_{k=1}^M E^k). \end{aligned} \quad (2-2)$$

このモデルには若干の問題がある。まず、このモデルのなかで汚染放出物を純粋公共財として扱っている。周知の通り、純粋公共財は完全に抽出不可能な性質を持っている。純粋公共財と完全な市場財は

現実的な財の両極のケースである。完全な市場財の場合、個人Aがある財を消費するとき、他人はこの財を消費できない。この意味で、この市場財はAに抽出されている。完全に抽出不可能な純粋公共財は、Aがこの財を消費するとき、他人がこの財を消費することは、Aの消費とは全く関係しない。環境汚染は典型的な外部性を持っているが、純粋公共財とは言い切れない。例えば、ゴミ問題である。ある人が自家のゴミをAの庭に捨てる場合、Aはゴミを捨てられることによって、負の外部性を被る。しかし、Aの被害によって、他の人が被害を避けることができる。ここでは、完全抽出でもあり、完全に抽出不可能とはならない。たとえ国際環境問題の酸性雨の問題は、この純粋な公共財の性質を満たさないことがある。酸性雨がある地域に降ることによって、他の地域に酸性雨が降る確率や量は少なくなるであろう。

もう一つの性質は、このモデルでは、人々は環境汚染を避けることができないし、同じ環境の下で活動しているということである。

第3の問題は環境汚染の度合は各企業の放出量の和で決められる。現実には、環境質は各企業の放出量の和によって表すよりむしろ大気中に汚染物質のストックで表すほうが適切である。なおここでは自然の除去率は考えていない。もし自然の除去率が一定であれば、各企業の放出量の和と大気中の汚染物のストックとは1対1の関係がある。

本論文は大気汚染(例えば二酸化炭素濃度の上昇)のような特定の問題に限定しており、この種の環境問題に純粋公共財を仮定すること(第1の問題, 第2の問題)が妥当である。第3の問題はダイナミック問題と関わっている。第4章でダイナミック問題を扱う。

Kuhn-Tucker 条件によってわれわれはこの社会のパレート最適の必要条件を求めることはできる。

$$\frac{\partial L}{\partial C_i^j} = \lambda_j W_i^j - \lambda_{R_i}, \quad C_i^j \geq 0, \quad i=1, \dots, n \quad (2-2.1)$$

$$C_i^j [\lambda_{w_j} W_i^j(C_1^j, \dots, C_N^j, E) - \lambda_{R_i}] = 0, \quad i=1, \dots, n \quad (2-2.1A)$$

$$\frac{\partial L}{\partial Q_i^k} = -\lambda_{F_k} F_i^k + \lambda_{R_i} = 0, \quad i=1, \dots, n \quad (2-2.2)$$

$$\frac{\partial L}{\partial E^k} = -\lambda_{F_k} F_{E^k}^k - \lambda_E \leq 0, \quad E^k \geq 0, \quad k=1, \dots, m$$

$$(2-2.3)$$

$$E^k(\lambda_{Fk}F_{E^k}^k + \lambda_E) = 0, \quad k=1, \dots, m \quad (2-2.3A)$$

$$\frac{\partial L}{\partial E} = \sum_{j=1}^H \lambda_{wi} W_j^i - \sum_{k=1}^M \lambda_{Fk} F_k^E + \lambda_E \leq 0 \quad (2-2.4)$$

以上の(2-2.1)式から(2-2.4)式はパレート最適の必要条件を提供している。Concavity条件を満たすとき、パレート最適の十分条件が満たされる。(2-2.1)式は消費者サイドの関係式である。

$$C_i^j \neq 0 \text{ ならば, (2-2.1A) によって } \lambda_{wi} = \frac{\lambda_{Ri}}{W_i^j}$$

W_i^j は消費者jが財iの1単位の追加消費による効用の増加分である。(2-2.1)式によって、

$$\frac{W_i^j}{W_i^j} = \frac{\lambda_{Ri}}{\lambda_{Ri}}$$

この式の左辺は2財別々の追加消費による限界効用の比率である。つまり効用最大化を目的とする消費者は消費市場でこの限界効用の比率(つまり、限界代替率)を、この2財の市場価格の比率と一致させる。つまり、

$$\frac{W_i^j}{W_i^j} = \frac{\lambda_{Ri}}{\lambda_{Ri}} = \frac{P_i}{P_i} \quad (2-2.5)$$

ここでは P_i , P_1 は財iと1の市場価格である。(2-2.2)式と(2-2.5)式によって、

$$\frac{F_i^k}{F_i^k} = \frac{W_i^j}{W_i^j} = \frac{\lambda_{Ri}}{\lambda_{Ri}} = \frac{p_i}{p_i} \quad (2-2.6)$$

式の左辺は財iと財1の技術的代替率である。利潤最大化をめざす企業は、技術的代替率を限界費用の比率と一致させる。競争市場では、企業の生産の限界費用と市場価格は一致する。(2.3)式と(2.4)式によって、

$$\sum_{j=1}^H \lambda_{wj} W_j^i - \sum_{k=1}^M \lambda_{Fk} F_k^E - \lambda_{Fk} F_k^E = 0 \quad (2-2.7)$$

これは、企業kの活動が消費者と他の企業に不利益を与えることである。第1項は消費者の不利益を表す。第2項は生産者の不利益を表す。第3項は企業kが汚染放出によってもたらすk企業の私的利益であるか、あるいは汚染を除去するためのコストである。もし、政府が介入しなければ、企業は汚染除去に関わるコストを負担しないであろう。しかし、この企業の活動によって生じた外部性はゼロではない。つまり、(2-2.7)式は成立しない。この式はパレート最適の必要条件であり、この式が成立しなければ、パレート最適は成立しない。ここでは、企業活動を完全に市場に任せれば、パレート非効率性の問題が生じる。いわゆる「市場の失敗」で

ある。

以上で、経済学的環境問題の解消の基準が定められた。問題は、この最適状態を達成するために、どの新しい経済システムを作るべきか、政府はどこまで介入すべきか、ということである。

(2-1)式と(2-3)式の8本の式によって、すべての変数が求められる。つまり、政府は企業の最適生産水準を決めるならば、社会にとって最適な状態になる。政府がすべての企業の生産量を決めるには行政上のコストは膨大となり、最適な生産量を決めるには個別企業の技術、経営など、多くの情報が不可欠となる。政府がすべての企業の生産量を決めるのは不可能である。

4. Lindahl 均衡と経済的方法

すべての財が完全に私有財である(すべての外部性を内部化する)とき、競争市場均衡によって最適状態になるという帰結は新古典派の基本的帰結である。環境問題が生じる前に、大気、水などが「自由財」として定義され、これらは「財」でないと認識された。特に1960年代以降、環境汚染が深刻になってきてから、大気、水などが「財」として扱われた。しかし、大気、水などの「財」は、決して私有財ではなく、公共財である。公共財を持つ経済システムのなかで、財の最適の分配を実現するには、完全競争の均衡理論はもはや有効でない。しかし、Lindahl 均衡の概念によって最適分配の概念を捉えられる。Lindahl 均衡の理論では消費者が効用を最大化し、企業が利潤が最大化し、環境 agency(政府とか、特種法人)が環境財を所有していて、agencyの利潤を最大化する。このとき、環境はagencyの私有財となる。この市場の均衡はLindahl 均衡である。環境 agencyの利潤はauction 市場で消費者へ環境に関わるサービスを提供したり、企業へ汚染権を売ったりすることによって得られる。消費者は良い環境を得るため環境 agencyから環境質を購入する。あるいは収入をさらに得るために、環境 agencyへ環境質を売る。企業にとって汚染物をたくさん出すならば、環境 agencyから汚染権を購入しなければならない。過剰となった汚染権は環境 agencyに売る。

消費者にとっては支出の制約の下で、効用を最大化する。

$$L^i = W^j(C_i^1, \dots, C_i^N, E) + \psi^j [Y^j + t^j - \sum_{i=1}^N p_i C_i^j]$$

$$(2-3 A)$$

ここでは、 t_j は消費者 j が環境 agency と間で交渉する環境権に関する取引金額である。生産者は生産可能集合の制約の下で利潤を最大化する。

$$L^k = \sum_{i=1}^N p_i Q_i^k + t^k - \phi^k F^k(Q_1^k, \dots, Q_N^k, E^k, E) \quad (2-3 B)$$

企業 k が環境 agency と間で環境権に関する取引金額は t_k である。

環境 agency にとっては収入最大化する。

$$L^a = -\sum_{j=1}^H t^j - \sum_{k=1}^M t^k + \eta(\sum_{k=1}^M E^k - E) \quad (2-3 C)$$

Kuhn-Tucker 条件によって、

$$\frac{\partial L^j}{\partial C_i^j} = W_i^j - \psi^j P_i \leq 0, \quad C_i^j \geq 0 \quad (2-3.1)$$

$$C_i^j [W_i^j(C_1^j, \dots, C_N^j, E) - \psi^j p_i] = 0 \quad (2-3.1)$$

$$\frac{\partial L^j}{\partial E} = W_E^j + \psi^j t_E^j \leq 0 \quad (2-3.2)$$

$$\frac{\partial L^k}{\partial Q_i^k} = p_i - \phi^k F_i^k \leq 0 \quad (2-3.3)$$

$$\frac{\partial L^k}{\partial E^k} = -t_{E^k}^k - \phi^k F_{E^k}^k \leq 0, \quad E^k \geq 0 \quad (2-3.4)$$

$$E^k (t_{E^k}^k + \phi^k F_{E^k}^k) = 0 \quad (2-3.4)$$

$$\frac{\partial L^k}{\partial E} = -t_E^k - \phi^k F_E^k \leq 0, \quad E^k \geq 0 \quad (2-3.5)$$

$$\frac{\partial L^a}{\partial E} = -\sum_{k=1}^M t_E^k - \sum_{j=1}^H t_E^j - \eta = 0, \quad E = 0 \quad (2-3.6)$$

$$E(\sum_{k=1}^M t_E^k + \sum_{j=1}^H t_E^j + \eta) = 0 \quad (2-3.6')$$

競争状態において、以下の式が得られる。

$$\lambda_{R_i} = p_i, \quad \lambda_{W_j} = \frac{\lambda_{R_i}}{W_i^j} = \frac{p_i}{W_i^j} = \frac{1}{\psi^j},$$

$$\lambda_{F_i^k} = \frac{\lambda_{R_i}}{F_i^k} = \frac{p_i}{F_i^k} = \phi^k$$

$$\frac{W_E^j}{W_i^j} = -\frac{t_E^j}{p_i}, \quad \frac{F_{E^k}^k}{F_i^k} = \frac{t_{E^k}^k}{p_i} \quad (2-4)$$

$$\frac{F_E^k}{F_i^k} = \frac{t_E^k}{p_i}, \quad \frac{F_{E^k}^k}{F_E^k} = \frac{t_{E^k}^k}{t_E^k} \quad (2-5)$$

$$\frac{t_{E^k}^k}{p} = \sum_{j=1}^H \frac{W_E^j}{W_i^j} + \sum_{k=1}^M \frac{F_E^k}{F_i^k}, \quad \eta = -\sum_{j=1}^H t_E^j - \sum_{k=1}^M t_E^k \quad (2-6)$$

$\lambda_{R_i} = p_i$ によって、財 i の価格が正であること。(2-2) 式は λ_{R_i} について Kuhn-Tucker 条件によって、

$$\lambda_{R_i} [R_i - \sum_{j=1}^H C_i^j + \sum_{k=1}^M Q_i^k] = 0 \text{ から、}$$

$$R_i - \sum_{j=1}^H C_i^j + \sum_{k=1}^M Q_i^k = 0$$

$$\eta [\sum_{k=1}^M E^k - E] = 0 \text{ と } \eta \neq 0 \text{ によって、}$$

$$\sum_{k=1}^M E^k - E = 0.$$

従って、すべての財が市場でクリアされる。

以上の条件はパレート最適の条件と一致している。この分析によって、公共財が存在している経済システムの中で、Lindahl 均衡によって、最適状態が達成されることが証明された。Lindahl 均衡は市場で環境 agency の介入によって市場メカニズムによって実現されるものである。(2-4)、(2-5)、(2-6) 式が成立すれば、(Concavity の条件の下で) パレート最適は保証される。(2-4) 式は環境の質(汚染の状態)で計る E^* の時、環境質の変化によって、消費者と環境 agency、環境質に関する取引金額の交換率である t_E^k を定める。(2-5) 式は企業と環境 agency、環境質に関する取引の交換率である。(2-6) 式は環境の質 E^* の時、企業が $t_{E^k}^k$ の放出量によって環境 agency に支払う金額の交換率である。これらの交換率は「価格」の性質を持っている。普通は環境 agency から消費者あるいは企業へ移転した金を「補助金」と呼ぶ。逆に消費者あるいは企業から環境 agency へ移転した金を「税金」と呼ぶ。 t^j が正であるとき、「補助金」であり、 t^j が負である時、「税金」である。つまり、消費者 j が補償金をもらうとき、環境の改善によって、環境 agency はこの消費者に対して補償金を減じるべきであり、逆に、環境が更に悪化すれば、この消費者に対する補償金を増加すべきである。もし、消費者 j が税金を払うとき、環境が改善されるならば、消費者 j が環境 agency に支払う税金は更に増加すべきであり、逆に、環境が悪化するならば、agency に支払う税金は減じるべきである。(2-4)、(2-5)、(2-6) 式はそれぞれ環境の変化、汚染物質の放出によってお金の移転の変化率のみを表している。ここでは、消費者、企業が税金を支払うべきか、補償金をもらうべきかは示されていない。

もし、個人の選好が顯示されれば、環境 agency が個人の選好の集計に基づいて環境政策を策定する方法は、理論上次の二つが考えられる。

1. 消費者は自分の環境質の改善のために価格を agency に払う。agency はこの金額を補助金として環境改善機関あるいは企業に払う。企業は環境改善にこの資金を使う。消費者が支払った価格は WTP

(Willingness to Pay) である。

2. 企業は汚染放出物量によって、税金として価格を agency に払う。agency は、個人の選好に応じて補償金として消費者に分配する。消費者が受け取った価格は WTA (Willingness to Accept) である。この原則は PPP (Pollution Pays Principle, 汚染者負担原則) と呼ぶ。

この二つのアプローチは効率上同じだが、どちらがよい政策かは倫理上の問題である(注3)。第1のアプローチは、企業の生産にともなう汚染物放出のあり方である。第2は、消費者がきれいな空気を享受するのは当然とする方法である。

以上の分析は環境財が公共財と同じに、排他性の性質を持っていないために、市場に完全に任せられないことを説明している。政府は、市場を自由放任にさせていると、環境問題が生じると判断している。しかし、政府はどのように介入すべきか。何の基準で介入するのか。自由経済にとって、政府の最小限にとどめるべきというのが一般原則である。Lindahl 均衡はこの点にある示唆を与えている。

Lindahl 均衡では環境 agency を通じて、仮説的な「環境市場」において、仮想的な (pseudo) 均衡を求めてきた。Lindahl 均衡が現実的に実行できれば、経済的な環境問題は解決できるといえる。しかし、問題はこれほど簡単ではない。少なくとも以下の問題が残されている。

環境 agency が環境サービスを売るとき、環境 agency は同じものを消費ないし企業に売らなければならない。消費者は環境サービスの特徴を知っているので、ある消費者が環境 agency と取り引きするとき、他の消費者と環境 agency とが一定水準の環境の取引を行っていることを知ることで、自らは環境 agency から購入する環境質に対して故意に自己の欲求する環境質水準を低く表明する。つまり、環境 agency の環境サービスの価格を下げるという意味である。この消費者は自分の求めた環境サービス価格が環境の悪化に影響がないと判断しているためである。つまり、低い価格で同じ環境質を共有できることを期待している。環境 agency が市場から環境質を購入するとき、消費者は自分の価格を故意につりあげても、環境 agency はこの消費者から環境質を買わなければならない。環境質はすべての人々にとって同一のものでなければならないからである。

Lindahl 均衡を実現するために、環境 agency は消費者の選好を知らなければならず、また企業の生産関数を知らねばならない。環境 agency は汚染放出者(企業)から税金を徴収して汚染被害者へ補償する場合、消費者の効用関数に基づいて補償するだけで、パレート最適が実現できる。もし、消費者が自己の選好を顯示すれば、環境 agency が消費者が顯示した選好に基づいて補償額を決めるならば、Lindahl 均衡が実現出来る。しかし、消費者は環境による自己の被害を過大申告すれば、補償額が大きくなることを知っている。消費者は自己の選好をかくして、過大申告するインセンティブがある。消費者に自己の選好を正しく顯示させるのは不可能である。

以上の理由から Lindahl 均衡を政策化して環境問題を解決することは不可能である。他方、Lindahl 均衡はもう一つの解釈によって成立する。Lindahl 均衡 agency の収益最大化という条件がなくても成立するので、環境 agency の概念がなくても Lindahl 均衡の解釈は可能である。つまり、汚染者の加害者と被害者との立場から均衡が成立しうる。Lindahl 均衡のもう一つの特徴は、前述したように、Lindahl 均衡は単に価格を定めるだけで、補償金、税金などはいっさい決めていないことである。環境 agency がなければ、金銭の流れは環境 agency を経由せず、直接に汚染者と汚染の被害者の間で移転する。Lindahl 均衡は汚染者から汚染の被害者へ補償金を出すべきであると言っている訳ではない。Lindahl 均衡は単なる金額の移転の変化率を決めているのであり、金額の絶対額を決めてはいない。どの程度汚染水準に達すると汚染者は被害者へ補償するか、決めていない。環境 agency の概念を用いずに、Coase 理論は Lindahl 均衡を説明できる。Coase 理論は所有権に注目している。前に述べたように、パレート非効率性の問題は、環境が公共財の性質を持つことによって生じたものである。環境の所有権を私的権利に明確にすることで、パレート非効率性の問題を解消する。Coase 理論によって、もし、消費者が自然環境で生活することを消費者の権利として認めるならば、企業は汚染物を放出するのに消費者の許可を必要とする。この許可を得るため、企業は消費者から所有権を買わなければならない。つまり、消費者へ補償しなければならない。もし、企業が生産活動によって汚染物を放出

することを企業の権利だと認めるならば、消費者は企業が環境改善の要求に応じた企業の努力に対して補償すべきである。どの程度の汚染か、あるいはどの程度の改善かは、両方の交渉によって決められる。交渉によってパレート効率が達成できる。しかし、Coase 理論には以下の二つの問題がある。

まず、第一に交渉のコストの問題である。コストがない交渉は Coase 理論が成立するための前提条件である。環境問題の解決はあくまでも実行上の問題である。つまり、現実的にはコストがない交渉はない。しかし、どのような政策を実行しても、コストは避けられない。交渉コストが他の政策の実施のコストより大きいならば、この点が問題となる。

第二点の問題は、現実に行に移すときの致命的な問題である。選好体系が違う多数の被害者と生産可能集合が違う汚染者との交渉の問題である。コストのない交渉はパレート最適であるという定理は一对一の交渉によって成立している。被害者と汚染者とはそれぞれの二つのパーティに属しなければ、この交渉は成立しない。我々の問題は「完全公共財」という性質の汚染問題の検討である。汚染者が一人で、消費者が多数の場合、交渉は成立しないという簡単な結論になる。多数対多数の交渉はいっそう難しくなる。勿論消費者と生産者にそれぞれ共通な利益があれば、それぞれのパーティがまず結束して交渉する。後はパーティ内部で更に利益を分配する。このプロセスによって、交渉が成立できるかも知れない。しかし、このプロセスのコストは消費者（生産者）の数によって幾何級数的に増加する。

環境 agency に依存している Lindahl 均衡も、Coase 理論も政府の介入を排除するために工夫された対策とも言える。効率面からみると、政府の介入を排除することは、政府の介入によって分配は不適切になり、介入のコストの増大によって効率低下の原因となるからである。しかし、環境問題は固有の公共財的性質を持っている。特に大気汚染の場合は影響の範囲が広く、被害を受ける人々が多い。Lindahl 均衡は環境 agency を通じての市場均衡の解釈にし、Coase の交渉理論にし、効率面からみて、政府の介入により分配を適正化してコスト減少をはかることは困難である。環境 agency の場合、消費者の選好顯示の問題がある。選好を顯示できても、環境 agency と消費者、企業それぞれの取引コストは小さくない。Coase 理論による交渉の場合、

交渉が成立するためには、一对一のパーティの形成をまず先行しなければならない。パーティの形成が必ずできるという保証はなく、形成ができて、パーティの内部の交渉は膨大なコストがかかるであろう。従って、政府の介入は不可欠である。政府の介入が必要であるという結論になれば、政府はどんな手段で、何処まで介入するかが問題となる。Lindahl 均衡は実行上は不可能であるが、Lindahl 均衡は環境政策に対する示唆を与える。

5. 環境政策

以上の分析で環境 agency という想定は現実的ではない。しかし、この Lindahl 均衡は、どのようにしてこの非効率問題を解消するかについて示唆を与える。

政府の環境政策は、個別直接規制と経済的手段に分けられ、経済的手法は、税金の規制と補助金による汚染量の削減、総放出量を定める売買可能な排出権などに分けられる。

①直接規制と経済的手段

環境政策の実施手段としては、大別して二つの手段、すなわち直接規制的手段と経済的手段がある。例えば、汚染物質の濃度や排出量について、規制的手段においては、この環境目標が達成できるように、各工場に排出規制が課される。規制は、排出されたガスに含まれる汚染物質の濃度や量を制限するものであり、場合によっては、工場で使用される燃料が原材料の質や量を制限する規制である。規制を遵守しない工場には、法的罰則が適用されることもある。これに対し、経済的手段は、企業に対する直接規制ではなく、企業の利潤最大化という動機に合致しているインセンティブを利用して、誘導的に環境目標を達成するメカニズムの総称である。経済的手段の適応としては、「課徴金」、「補助金」、「排出権取引」などがある。

個別企業ごとの排出規制と税金の規制の違いが一つある。それは必要な情報量である。既に述べたように、効率的な資源配分を実現するために、私的限界便益関数や限界費用関数などの情報を事前に知る必要がある。原理的には所与の汚染削減目標は、排出量に一定の上限を設ける規制によっても、また税や課徴金の市場メカニズムを用いることによっても、同等の汚染削減の結果を達成できる。1単位の汚染量に課徴金を課することによって最適な汚染削減の水準を実現できるし、規制によっても同様の水

準の排出削減を汚染者に義務づけることができる。しかし、これらの手段はともに理論的に同等の削減効果を発揮し得るとはいえ、実際面では重要な違いが両者の間には存在する。

汚染除去の場合、排出量の削減費用は種々の理由から多様となる。異なった企業はそれぞれ異なった技術を用いて、他より汚染物質の排出削減にうまく取り組むこともある。同様に、個々の家計において、汚染負荷の高い特定の製品の使用をどれだけ減らせるかは、それぞれの家計の嗜好や水準によって決まり、それに要する費用も様々である。効率的な汚染削減政策は、このような個々の削減費用の違いを反映し、最も安い費用で汚染削減を達成し得る対策に集中するであろう。

汚染の制御のために市場を利用する方法が有利な点は、規制による政策より汚染削減努力を経済全体を通じて効率的に実施できることである。個々の汚染者について規制当局が汚染排出減少を効率的に実施しようとする、個々の主体の費用や状況に関する膨大な情報が必要となる。これに対し、価格メカニズムを活用する方法では必要な情報量が大幅に節約できる。最も削減費用が安い方法は、汚染のための課徴金や租税が課せられることを事前に判断して自ら進んで汚染を削減する工夫をすることである。

市場原理（税などの手段）を活用する汚染制御方法の欠点は、環境税や課徴金が汚染レベルに影響をすることは、それは汚染者が利益変化に反応するということを前提にしている。この点は、企業がどの様な仕組みになっているかに関わっている。すなわち、企業の内部組織は、汚染削減を促す資金上のインセンティブに対する影響する。とりわけ、規制された企業や公的企業では、費用最小化のインセンティブには必ずしも反応せず、市場的なインセンティブは制限されてしまう。

規制と経済的手段のいずれが優れているかという議論は、一方が、他方より圧倒的に優れていると評価できない。多くの場合、達成目標を明確にするために、まず規制が先行し、そのあと、それを補完ないし補強する経済的手段が利用されるケースが多い。

汚染企業が市場で独占的な力を持っている場合、税手段は困難性がつきまとう。独占企業がその生産量を低い水準にとどめ、高価格の下で高い利潤を確保しようとする場合、環境税の方法は規制の方法に

比べて、社会的最適水準から生産を乖離させる場合がある。環境税には二つの効果がある。一つは汚染を減少させる望ましい効果と、他は生産低下にともなう厚生損失の効果である。

②税・課徴金対補助金

原理的には、補助金は汚染の削減に関し、排出量を対象にした税や課徴金と同等のインセンティブ効果を発揮させることができる。現状から削減した汚染量に応じた額の補助金が与えられれば、個々の汚染者は排出量に応じた同率の税が課された場合と同様に、同じ対策技術を採用し、同程度の削減努力を払うようになる。しかし、実施面をみると、多くの補助金政策は、直接補助金や税制上の特別措置といった形で行われており、具体的な削減そのものではなく、特定技術の採用の促進に用いられている。

汚染削減のインセンティブの仕組みとして補助金を用いる場合と税や課徴金を用いる場合とでは、以下の4点で大きな違いがある。

ア. 補助基準の定義

税と同等の効果を持つ補助金は、実際に排出された汚染量ではなく削減された排出量に支払われるので、現行の排出量と比較されるべき排出量の基準が明確にすることが必要がある。このため原理的にみると、政策がなかった場合の結果に関して、複雑で仮想的な評価作業を行う必要がある。

イ. 企業の参入、退出への影響

税も補助金も、販売収益には同じインセンティブを与えるけれども、企業の得る利潤に対して異なった影響を与える。この結果、長期的に産業構造は異なった変化をする。

ウ. 公共支出

明らかな違いは、補助金の場合には税に比べて公共支出が増えることになり、補助金の財源を確保するために、他の税を徴収しなければならない。一方汚染に課税する場合は、税収が増え、したがって他の税を減額する余地が生まれる。

エ. 隠された産業保護措置

環境政策において補助金を用いることは好ましくない実際上の理由は、時間を経るにしたがって、この種の補助金が産業の保護措置になっていく危険があることである。環境政策の中にあって、このような間接的あるいは隠された形で産業を保護する措置は、国際的に議論的となってきた。OECD諸国の間では汚染者負担の原則（PPP: Pollution Pays

Principle) が受け入れられているが、この原則は環境政策は補助金なしがまず出発点であるという実証しやすい原則となっている。

課徴金に対する補助金の利点の一つは、地域や部門の特殊条件を考慮した目標設定が容易であることである。PPP 原則は、企業の汚染対策費用を政府からの補助金で処出することを、原則的に禁じている。それは企業間の自由競争を損ない、とりわけ、国際貿易に歪みをもたらすためである。しかし、PPP 原則にもいくつかの例外が認められている。技術的に遅れた国や企業に対する臨時的な措置である場合、過去の行為が原因となって現在の被害が発生している場合、そして遺留の環境汚染を早急に改善する必要がある場合などである⁵⁷⁾。また、環境税からの収入を、例えば、クリーンな技術開発に対する補助金の財源に使うことが考えられる。

③税・課徴金と売買可能な排出権

地球温暖化防止との関連で注目を浴びているのが排出権取引である。その考えの原型は、大気汚染対策のために、1970年代末にアメリカ環境保護庁が打ち出した「総量規制」という方式である。アメリカでは、これらの方式が1980年代から現実に導入された。

排出権取引が導入されるケースとしては、大きく二つ考えられる。第1は、既に規制的手段が適用されているところで、新たにその制度へのシフトを認めるケースである。この場合の前提として、前より環境が悪化することがあってはならないという「非悪化原則」が適用される。つまり、総量規制である。この非悪化原則のもとで、汚染物質を排出する企業や工場の間で汚染排出量の取引（金銭的売買）が認められる。これは、各汚染源は、認められている範囲までは汚染を出すことが許可されている。つまり、汚染排出の権利「排出権」を有するとの考えに基づくものである。この取引は、排出権の売買ないしは取引である。

排出権取引が導入される第二のケースは、従来特に規制が行われていなかった物質の排出量を制限するために、新たにこれを導入しようとする場合である。地球温暖化対策のための二酸化炭素に関する排出権市場の創設がこれにあたる。この場合、ある地域について、汚染物質の排出総量の許容限度が設定される。同時に、この限度まで汚染物質を排出してもよいという「排出権」が認められ、排出権は、市

場で自由に売買することが許される（「売買可能排出権」）。これは、前述の第1のケースと基本的には同じであるが、権利を最初にどのように配分するかという点で新しい問題を提起している。汚染に対する規制が既に存在してきたところでは、既存の汚染源は、規制値を越えない範囲まで汚染を出すことが認められているという意味で、一種の既得権益としての排出権を考えることである。しかし、従来何の規制も課されなかった二酸化炭素のような物質について、ある時点における排出量に基づいて排出権を与えるならば、これまで汚染を出してきた企業は、さらにこの権益を得ることになり、社会的にも国際的にも認め難いことになる。地球温暖化問題は全地球的な問題であるから、当初の排出権を国家間でどう配分するかが大きな問題になる。各国の人口や、現

表2-1 国別経済的手段の事例数

	排出課徴金	製品課徴金	デポジット	排出権売買
米 国	5	6	4	4
スウェーデン	3	11	4	
カナダ	3	7	1	2
デンマーク	3	10	2	
フィンランド	3	10	2	
ノルウェー	4	8	3	
オーストラリア	5	1	3	1
ドイツ	5	3	2	1
オランダ	5	4	2	
オーストラリア	3	4	3	
ベルギー	7	2	1	
ポルトガル	4	3	3	
フランス	5	2		
スイス	3	2	1	
イタリア	3	2		
アイスランド	1	1	2	
日 本	3	1		
アイルランド	2	1		
スペイン	3			
イギリス	1	1		
ニュージーランド	1			

資料：文献³¹⁾による。

在の化石燃料消費量をもとに多様な配分方法が考えられるが、先進国、発展途上国、石油産出国といったさまざまな国家間における公平性をどう考えるかが大きな国際的議論になる。

④経済的手段の事例

経済的手法は直接的規制に比較して以下の長所を有するといわれている。まず第一に、広範な主体を対象とする二酸化炭素などの排出を削減する場合、規制的手段では、個別企業や産業に対する適切な削減量の割当を定めることが困難であり、結果的に過大な削減コストがかかる。これに対し、経済的手法は市場のメカニズムを通じて、それぞれの主体が最も経済的な行動を自主的に選択することにより、少ないコストで最適な配分がなされる可能性がある。第二に、規制的手段では、規制値を越える汚染量削減に対するインセンティブは欠如するが、経済的手法は汚染量の削減が経済的な利益に結びつくために継続的なインセンティブ効果がある。また、経済的手法は各主体に対し費用と便益に基づく自主的な判断を求めめるため、直接規制に比べ、自己責任の形成にも資するものといえよう。次に、経済的手法を巡る国際的な動向を見てみよう。近年、環境税あるいは課徴金をはじめとする経済的手法の導入の議論が高まりを見せており、表2-1のように既に多くの国々で課徴金などの活用がみられる。

ア. 税・課徴金

環境へ直接・間接に悪影響を与える環境汚染物質の排出を削減する狙いを持つ、多様な税を環境税と総称する。例えば二酸化炭素の排出を抑制するための炭素税、硫黄分の少ない燃料に転換することをめざした硫黄税、廃棄物処理費用を汚染者に負担させ、再利用システムの確立を狙った使い捨て飲料容器に対する税など各種の税が存在する。また、課徴金にも、表2-2のように様々な形態がある。

大気保全の分野では、伝統的に規制的手法が重要な役割を担ってきたが、経済的手法は規制的手法の補完としても機能する。なお、近年、大気保全の分野では、経済的手法はだんだん重要な役割を演じる傾向もある。特に製品やエネルギー使用による大気汚染を対象として、より広範な経済的手法を導入することが考えられている。スウェーデンでは、1992年より窒素酸化物排出課徴金制度が導入された。1992年には、20~40%の削減を予想していたが、実際には予測を大きく上回る30~40%の削減が達

表2-2 大気汚染に関わる課徴金の例

国名	対象	使い道
カナダ	大気汚染許可料	大気汚染対策
フランス	酸性排出物 (SO ₂ , NO _x , H ₂ S, N ₂ O 等)	補助金
ポルトガル	S ₂ O, NO _x	大気汚染対策
スウェーデン	エネルギー生産に関わるNO _x 排出	エネルギー生産に割戻し
日本	SO _x 排出量	健康被害への補償

資料：文献⁶⁵⁾による。

表2-3 炭素税の例

国名	CO ₂ 1トンあたり税率
デンマーク	ECU5.5-11.1
フィンランド	ECU1.1 (自動車用燃料を除く)
オランダ	ECU0.4
ノルウェー	石炭 ECU13.8 石油 ECU15.7 ガソリン ECU40.6
スウェーデン	天然ガス ECU37.9

註：1 ECU = ¥120 (1994年8月)

資料：文献⁶⁶⁾による。

成された。フランスでは、1980年に大気汚染の監視や大気汚染防除技術の開発などを目的とする「大気質公社」が設立され、同公社の事業のために、政府に対して特別課徴金を設ける権限が与えられた⁶⁶⁾。課徴金の使い道は、賦課対象事業者を含む委員会によって決められるが、全体の75%が賦課対象における大気汚染防止施設の設置に当たった補助及び大気汚染対策技術の研究開発に、残りの25%は大気汚染監視網の整備などにあてられている。1985年からの5年間の補助により、フランス全土の硫黄酸化物排出量比で約8%に当たる量の硫黄酸化物が削減されたといわれる。

エネルギーの分野では、これまでも、エネルギー税、優遇措置、補助金などの適用例がみられる。EC委員長においては、1991年9月、燃料と炭素分とエネルギー分とに着目した炭素・エネルギー税を提案した。

イ. 排出権売買

排出権売買とは、個々の主体に定められた廃棄物の排出量をあらかじめ割当て、その排出の権利の売買を許すものである。排出権売買にも様々な形態が

あり、例えば、米国では、1990年大気清浄法の改正により、酸性雨の防止を目的とした排出許可量の売買制度が導入されている。これは、全米の発電所の各ユニットを対象に、二酸化炭素と硫黄の排出量を2000年までに、1980年の排出量に比べて1000万トン減の年間890万トンとすることを目標としている。各発電ユニットに配分される排出許可量は売買可能である。米国環境庁は、その実行性を高めるために排出量のモニタリングを行っており、割当てられた排出許可量を越えた場合には課徴金が課される。

1990年7月のヒューストン・サミット、1991年7

表2-4 売買可能な排出権の例

国	対象
オーストラリア	塩分低減クレジット
カナダ	CFCS、酸性雨コントロール
ドイツ	大気汚染
米国	オゾン層破壊物質の生産、消費権；酸性雨許容量取引
米国（地域レベル）	大気汚染

資料：文献⁶⁹⁾による。

月のロンドン・サミット、あるいは1992年7月のミュンヘン・サミット等の国際政治の場において、経済的手法は、地球環境保全のための重要な環境政策として位置づけられた。

OECDでは、1991年1月の環境委員会閣僚会議において、環境政策と経済政策の統合を軸とした基本的な方向が合意され、さらに、加盟各国が経済的手法を効率的に、かつ広範囲に活用できるように「環境政策における経済的手法の利用に関するOECD理事会勧告」を採択、承認した。この中で、経済的手法を①課徴金及び税、②排出権の市場での売買、③デポジット制度、④資金援助（補助金）をあげ、各国の社会経済的状况を考慮しつつ利用することを勧告した。その後、OECDの「税制と環境に関する作業部会」は1993年3月に環境税の導入に当たって様々な論点を整理し、問題点への対策を示す報告書を公表した。一方、EC委員会においては、燃料の炭素分とエネルギー分とに着目した炭素・エネルギー税の導入に関するEC指令案がEC委員会で1992年5月に採択され、現在、理事会で審査が継続されている。

註

(註1) 汚染度合という言葉はもともと汚染物質のストックに相当している意味を指しているが、ここでは、簡単に各企業の汚染物質の放出量の和を指している。本章のモデルはすべて静学的なモデルであるから、ここでは時間の概念が抽出された。汚染物質の放出の和と汚染ストックと一致になっている。

(註2) 制約(2-1.4)が環境経済学の中で一般化されることができない。浄化能力をもつならば、汚染物質の放出量が負になることは可能である。例えば、鉄鋼産業がの冷却水の場合、工場から流出された冷却水が、流入された冷却水よりきれいであるということは有り得る。しかし、本論文は二酸化炭素のような地球環境問題をもたらす物質を中心として分析するから、(2-1.4)式のような制約は特に問題にならない。

(註3) 二つのアプローチは効率上同じだが、経済システムの中で、同一の倫理が必要である。もし、A企業に対して汚染者が負担原則を実行して、B企業に対して消費者が負担するという政策を実行するならば、明らかに、最適が成立できない。この理由によって、国際貿易が激しい競争の国際経済の中で、統一の倫理が必要である。

第3章 地球環境問題

1. 地球環境問題の解決困難

産業革命以降の人間活動の拡大により、環境への影響が増大し、環境悪化が顕在化してきた。環境を悪化させる人間の活動が比較的小規模な場合には、影響は地域的なものが中心で、地域における対策により解決が計られた。そして、地域的に直接に人間の健康や生活環境へ影響を引き起こす環境負荷が主に注目されていた。これまでの環境対策はこのような問題認識に沿って整備されてきた。近年の地球温暖化などの地球規模の新たな環境問題が発生し、従来の考え方に対し重大な見直しが求められるようになってきた。

地球温暖化の問題の顕在化は、人間活動の拡大に対する警告を与えてきた。人間活動のあり方に対する危惧は、強い現実性をおびてきた。地球の温暖化は、全世界共通に影響を受ける問題である。更に、現在の世代よりも将来の世代になってはじめて影響が現れる問題である。地球全体の大気は、その利用

に当たって、だれも経済的費用を支払う必要がなく、国境を越えて自由に移動し、どの国も占有できない典型的な自由財の性格を持っている。温暖化の大きな原因であると考えられている二酸化炭素の排出には、先進国を中心に、世界各国がその活動の規模に応じて関わっていることから、各国を通じた取り組みが求められる。しかし、大気的自由財としての性格から、ある国における対策の効果は他のすべての国に及び、一方、対策をとらない国があっても、その国に便益が及ぶことを排除できないという性格があり、フリーライダー問題が生じる。このため、世界の協調を確保するための枠組をつくることが求められる。しかしながら、これまでの制度の枠組では、将来の世代や人類全体の福祉に関わる問題を扱う考え方、国際的な対応を進めるための枠組と責任、さらに、経済活動全体を環境保全型にしておくための体制については、いずれも不十分な対応しかできていない。

地球温暖化のもつ影響面の時間的な広がりや、そのメカニズムの複雑さもあいまって、問題を困難にしている。技術の開発や普及を含め、対策について国内の合意を得ることを難しくしている。特に二酸化炭素の排出は、エネルギーの利用と深く関わっており、このため、経済社会のあり方と密接な関係をもっている。さらに、利害や立場を異にした多数の関係者が対策に関与することは困難である。二酸化炭素は日常的経済活動や生活から広く発生するものであり、対策を実施する際の対象範囲も極めて広く、それが及ぼす影響も大きいと予想される。特に、温暖化は地球規模で生じ、対策も全世界的に行われるため、利害や立場を異にした世界の各国の参加を得る必要がある。また、世界の国々には技術、費用などの面で有効な対策を取れない国もある。

かつての典型的公害特題は、工場のような特定の発生源から出される排煙、排水などが周辺の環境に悪影響を与え、悪化した環境が人に被害を生じさせるものであった。この問題については、その発生源、影響及び因果関係が認識しやすく、また、住民が自らの生活への影響を実感することも容易であり、問題の重要性やその所在が分かりやすく、対策を求める意見や行動をとりやすい。しかし、地球環境問題に於いては、その影響が実感しにくく、原因や因果関係が複雑である。この点が、地球環境問題の解決を困難にしている大きな要因といえよう。

影響が実感しにくい点は、第1に、環境問題の空間的広がりや問題の認識、理解を困難にしている。第2に、地球温暖化のように、将来になって大きな影響を生じるという意味で原因と結果の間に時間的ずれがあり、現在に生きる世代に実感しにくい面がある。第3に、有害物質による人体への影響のように直接知覚される問題は、人々の注意を喚起しやすい。しかし、慢性的に影響をもたらす地球環境問題のような長年に様々な影響を及ぼす問題は、実感しにくい。

地球環境問題のように、空間的、時間的広がりを持つ問題や、関係者が多様にわたり日常的な経済、社会活動によって生じる問題は、便益間にアンバランスがある。環境に影響を与える活動を行う者と影響を受ける者との違いや、環境から便益を受ける者と、対策の負担を被る者の違いなどが従来の問題とは異なり、対策への取り組みを難しくしている。

2. 一国の最適環境基準と世界規模の最適環境基準の矛盾

第2章で、一国の場合には、政府の環境政策によって、政府が目指している環境基準を達成できることを明らかにした。この環境基準がその国にとっては最適であることを論じた。もし、世界がこの一国のみによって構成されるならば、この環境基準がこの国にとって最適であると同時に、世界にとっても最適となる。しかし、世界は1つの国だけではなく、複数の国々によって構成されている。一国の政府が環境基準を定めるとき、この国の政府は国の私的利益と国の社会的コストのみを考慮するので、この国から他国への外部性が生じる。したがって、この国の最適環境基準は世界にとって最適ではない。つまり、それぞれの国の政府が国内の企業に規制したり、環境税を実施したりしても、国際環境問題が発生する。その理由は各国の政府にとって国外への外部性を考慮するインセンティブが存在しないからである。

一国の政府はコントロールによって自国の最適状態の環境を達成できると説明した。それは政府が自国の集計的な選好や、企業の汚染防止コストに関する情報を完全に得て、政策を実行できるからである。勿論、この仮定は現実的ではないが、国際環境問題の研究には一般的な仮定である。

世界は多数の主権国家によって構成されている。国家の主権という言葉は、国家が他国の意思によつ

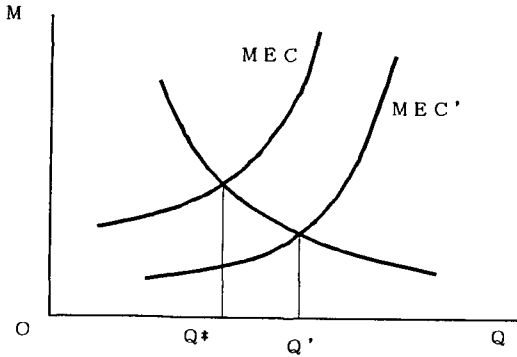


図3-1 外部コストの過小評価と効率のズレ

註：MECは世界全体の限界コスト曲線、MEC' 自国の限界コスト曲線

て支配されることのない対外的な独立権と対内的な最高の支配権、統治権を意味する。対内的には国の政治のあり方を最終的に決定する権利を指し、統治権と同義に用いられる。対外的には外部の支配に従属せず、対外、対内関係を自国の力で決定できる独立性を指し、国際的独立権を意味している⁵³⁾。この定義によって、国は自国の環境政策に最終的な決定権を持っているが、外国の環境政策を決定できないという根拠が規定される。

従来、国家の主権という概念は、国家権力の最高・独立性を強調する文意で用いられてきた。国家が国際法に拘束されることを説明する際にも、それは国家が自主的に課した自己制限にはかならないから、その最高・独立性と矛盾しない。しかし、国際組織の発展と共に主権に関しても新しい問題が生じてきた。国際組織の決議が全会一致で行われ、その決議が拘束力のない勧告的なものである場合には、主権との関連で問題は生じない。しかし、多数決で決議がなされたり、決議に拘束力が認められるようになると主権制限の問題が生じる。特に問題となるのは国際連合である。国連は、加盟国の主権平等を基礎として組織されている。しかし、国連では多数決によって決議がなされる。この場合も、その決議が勧告的なものであれば、各国の主権は最終的に留保されていると言える。ところが、安全保障理事会が強制措置に関連して行う決定は加盟国に対する拘束力を持っている。決議に反対した国、決議に参加しなかった国も法的に拘束されることになり、自己の意思に基づかず他の権力主体に拘束されることに

なると、主権は制限されることになる。この場合は、国連はまるで一国の議会あるいは世界政府として機能し、世界は一国の場合と同様に、最適な環境政策が実行できるように見える。この問題の核心は、国連は一国の政府が自国に対して強制力を持つように、世界の各国に対しても強制力を持つような「政府」と同様な権限を持っているかどうかである。答は明らかに否である。国連の場合は少なくとも常任理事国が拒否権を持っている。つまり、この五つの常任理事国の合意がなければ、強制的な決議は成立しない。

一国の政府が自国の国内の環境政策に関する最終決定権を持っていることは、政府が自国の領内で最適政策を実行できる要件である。国際環境問題の場合も、もし、地球環境問題に関する国際合意(条約)があれば、この問題は解決できる。しかし、この問題に関する国際合意がない場合は、地球環境問題は各国の自主的な政策では解決されない。

ここでは国家単位のフレームワークで分析する。一定の価格基準でその国の財を集計して、1つの複合財(この複合財をGDPと考えてよらしい)を生産する。国の効用はその国の集計の効用である。この国の効用はその国の財と環境質に関する関数である。つまり $U_i(Y_i, P)$ 。

ここでは Y_i は i 国のGDPであり、 P は環境質を測る変数である。環境質は各国にとって同じであり、純粋公共財の性質を持っている。環境質を測る変数 P を定義する。つまり、 $P = \sum_{j=1}^n E_j$ 。この式の意味は、各国が放出した1単位あたり汚染物が環境に与える影響は同じであるということである。

i 国以外のすべての国の放出量は $P_i = \sum_{j \neq i} E_j$ である。

一国の生産可能集合は $F^i(Y_i, E_i, R_i) = 0$ である。

一国の資源は一定と仮定する。かつ資源が十分に利用されるならば、

$$Y_i = f_i(E_i) \quad f_i' > 0, f_i'' < 0 \text{ と設定できる。}$$

i 国の効用は $U_i(Y_i, P) = U_i(f_i(E_i), P_i + E_i) = V_i(E_i, P_i)$ になる。

ここでは E_i は i 国が経済活動にともなって放出した汚染物の量である。 P_i は i 国以外の国の放出量である。ここで注意すべきことは第2章で分析したように、一国の総生産が多ければ、多いほど良いという訳ではない。一国にとってその国の私的限界生

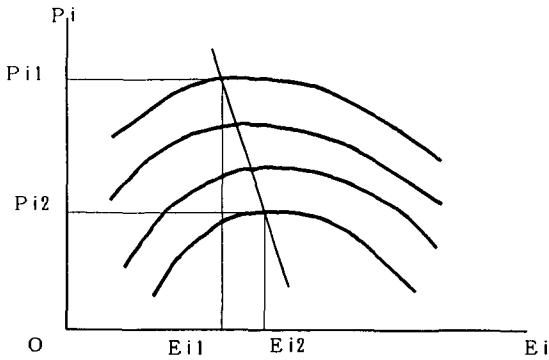


図3-2 国の外部環境と国内汚染物質放出量の無差別曲線

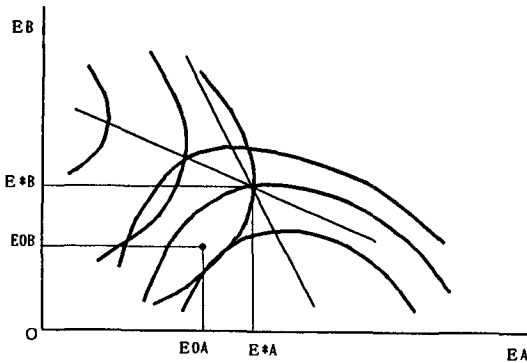


図3-3 ゲームモデルによる二国間汚染物質放出量の均衡

産利益とその社会限界コストと等しいところで生産することがその国にとって最適である。 (E_i, P_i) 空間で、 i 国の無差別曲線を表すと図3-2のようになる。

P は悪い性質の公共財であるから、図の上辺の無差別曲線は低い効用を表す。他の国の放出量が P_{i1} の時、 i 国の最適な放出量は E_{i1}^* である。他の国の放出量が P_{i2} の時、 i 国の最適な放出量は E_{i2}^* である。社会的な限界コストの逡増により以下の関係が導かれる。

$$P_{i2} > P_{i1} \implies E_{i2}^* < E_{i1}^*$$

ここでは単純化のために2カ国を仮定して分析する。再交渉立証の精神(注1)によって、ある結果は二国間のゲーム(注2)において、均衡(注3)でなければ、多国間のゲームにおいて均衡にならない。ここで抽象化されたモデルは現実より「良い結果」

が得られやすい。つまり、もし、パレート結果がこのモデルの均衡から得られないならば、多国のモデルからも得られないという意味である。A, B二カ国の場合、 E_A はA国の放出量である。 P_A はB国の放出量である。つまり、 $P_A = E_{B0}$ 。 (E_A^*, E_B^*) は均衡点である。ここで、A国の放出量は E_A^* であり、B国の放出量は E_B^* である。注目すべきことは、A国が E_A^* を放出するとき、B国にとって最適な放出量は E_B^* である。同様に、B国が E_B^* を放出するとき、A国にとって最適な放出は E_A^* である。どちらの国にとっても一方的に放出量を変更するインセンティブがない。この点をNash均衡と呼ぶ。明らかに、 (E_A^*, E_B^*) は非効率である。なぜならば、両国が、もし放出量(生産量)を減らすならば、例えば (E_A^0, E_B^0) で生産すれば、両国ともに効用を増加できる。

図3-4で両国の効用無差別曲線は (E_A^0, E_B^0) で接している。この部分では、他の国の効用を下げないままで、自国の効用を増加することは不可能な状態になっている。この条件を満たすような (E_A^0, E_B^0) はパレート効率の状態である。しかし、条約がない限り、この点は達成できない。仮に、B国が地球環境問題を解決するために、先に自主規制の行動をとるならば、つまり、B国が E_B^* の放出量を E_B^0 の放出量にまで削減すれば、A国にとって、自国の最適な放出量は E_{IA} である。B国の自主削減によって、A国の効用は a_2 曲線の効用まで増加できる。この効用はもちろん均衡状態 E^* の a_1 曲線の効用より大きい。パレート最適点の a_0 曲線の効用よりも大きい。これによってA国の放出量を E_{IA}^0 でセットするインセンティブはない。A国にとって E_{IA} の放出量を出すことに対して何も制約がない

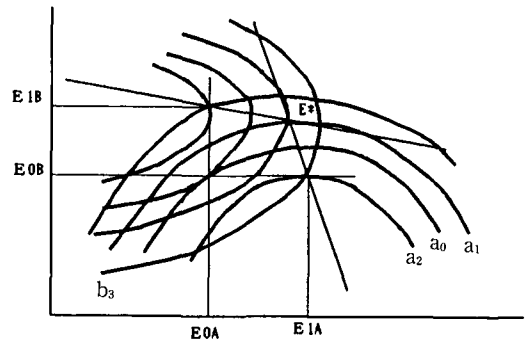


図3-4 Nash均衡から乖離している最適放出量

から、国民の厚生のために、 E_{1A} は当然の結果となる。A 国のこの利己的な行動によって、B 国は自主規制政策で、自国の効用が b_3 曲線の効用まで下がってしまう。B 国にとってこの状態の効用はもちろん E^0 状態の効用より小さいが、均衡点 E^* の状態よりも小さい。つまり、B 国がこの「良い」行動によって自国の効用を上げることができなく、下がるだけである。もちろん「理性的」B 国はこの結果を事前知っているから、B 国はこの自主規制の行動を取らないであろう。しかし、もし条約があれば、問題は違ってくる。例えば、A、B 両国が地球環境問題を解決するために、両国の放出量をそれぞれ E^*_A 、 E^*_B から、 E^0_A 、 E^0_B まで削減する合意をすれば、両国は国際条約の制約によってこの合意された水準以上の放出量を放出できないから、両国は心配なく、自国の放出量を削減できる。

地球環境問題は経済学的にはパレート状態によって生じている。パレート効率になるならば、地球環境問題の経済学的な解決は可能である。静学的なモデルの中で、無差別曲線に一定の性質があれば、非効率な Nash 均衡は一般的に唯一である。しかし、パレート効率の状態は唯一ではない。

異なるパレート状態が両国にとってそれぞれ異なる効用と対応している。すべてのパレート効率の状態が Nash 均衡状態と比較して、すべての国にとって望ましい訳ではない。図 3-5 のように CC 曲線上の状態がパレートである。 C_1 から C_5 まで、B 国の効用は高い効用から低い効用へと変化する。逆に、A 国の効用は低い効用から高い効用へ変化する。 C_1 点の状態はパレート効率であるが、A 国にとって

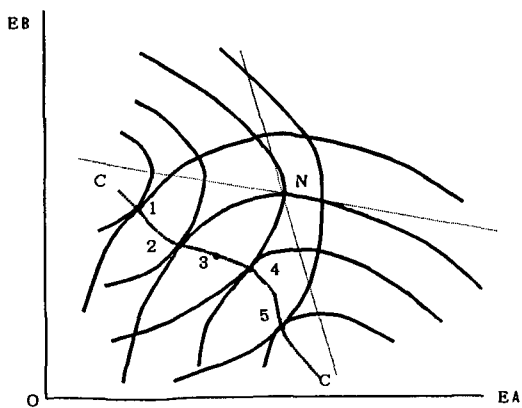


図 3-5 パレート効率曲線の決め方

ももとの Nash 均衡より更に悪化している。 C_2 点の状態では、非効率な Nash 均衡の状態を改善することによって生じた利益がすべて B 国に吸収されている。A 国は環境を改善することに協力したが、協力によって生じた利益の配分に預からない。Nash 均衡状態より改善されたとはいえない。 C_3 点の状態は両国にとって利益がある。パレート効率の状態はこの CC 曲線上のすべての点であり、無数の可能状態である。この無数の可能状態によって多国間の協力参加には多くの困難が持ち込まれる。パレート効率の非一意性によって達成される状態が決められない。A、B にとって C_2 、 C_4 の間のすべての状態は Nash 均衡の状態より望ましいが、具体的にどこで合意するか、決定ができない。

3. 国際協調の難点

① 協力の結果の非一意性

合意の結果に関する協力ゲームは図 3-6 で分析できる。N 点は Nash 均衡と対応している。図 3-5 中の CC 曲線はパレート効率の状態である。この曲線のすべての領域で、他国の効用を下げないまま、自国の効用を増加することは不可能であるから、CC 曲線に対応した効用は図 3-6 でフロンティアになる。混乱をさけるために、図 3-6 のフロンティアは同じ記号で表す。図 3-6 の CC 曲線は決して図 3-5 の CC 曲線と同じでないことに注意すべきである。図 3-5 の CC 曲線は放出された汚染量である。図 3-6 の CC 曲線は図 3-5 の CC 曲線上での状態と対応している効用である。

図 3-6 からみると、両国が協力して、各国の放出量を C_2C_4 の間に設定すれば、両国にとって利益が

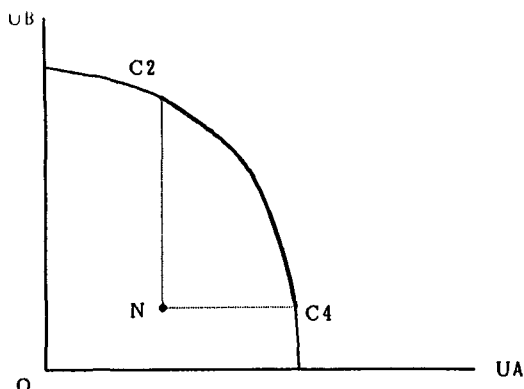


図 3-6 協力ゲームにおける解の存在性および非一意性

ある。このとき両国の効用は図3-5の C_2C_4 と対応している。両国とも利益があるにも関わらず、両国が具体的にどの点で合意するか、簡単に決められない。例えば、A国はできるだけ C_4 の状態に近いところで合意したいが、逆に、B国はできるだけ C_2 の状態に近いところで合意したい。単純化のために、例えば、地球温暖化の問題を解決する目的で、放出権を各国に割る案を想定すれば、各国はできるだけ自国により大きい放出権が割りあてられるようにとする。現実の世界の中には、温暖化に関する合意の手段は技術移伝、資金援助など種々あるが、実際に放出権が市場で取り引きできれば、資金援助の手段はすべてこの放出権の割りあて方法と同様に対応できる。図3-5、図3-6のモデルは一見して単純であるが、問題の本質である合意の難点はこのモデルに含まれている。

第2章で、述べたように、二酸化炭素を削減することと、その国のGNPを抑制することは強い相関関係があり、その国の生活水準、福祉水準、さらにその国の財政上の問題と深く関わっている。国際合意がなければ、一国が大幅な削減政策を実施しても、その国の環境悪化、地球温暖化の解決を大きく改善する期待は薄い。

② 温暖化対策を巡る対立

地球温暖化問題を巡って、先進国と発展途上国との間で深刻かつ複雑な意見対立がある。また先進国の中で各国はその立場によって問題に対する取り組み姿勢が異なっている。すなわち、先進国では西欧諸国が積極的な施策の導入姿勢を見せているが、アメリカは二酸化炭素の排出目標を設定することに抵抗を示している。日本はその中間であるが、当初はアメリカに歩調を合わせていたが、最近では温暖化問題に積極的に取り組むようになってきている。また、発展途上国では、NIES諸国など比較的経済発展の進んだ国や、ロシアや中国など資源大国、東南アジアや南米の熱帯雨林国、旧社会主義国の東欧諸国、そして資源小国や最も開発の遅れた国々等その立場の違いから、先進国への対応や自国の開発戦略は異なっている。さらに、OPEC諸国の石油産出国としての特別な配慮を求めている。

ア. 先進国と発展途上国の対立

地球環境問題に関する議論はまず責任論である。開発途上国は、先進国が、産業革命以来、経済発展を追求するあまり、自然資源を過剰に消費し、ま

た、大量の廃棄物を放出して環境に負荷を与えてきたと考え、こうした先進国にこそ、今日の環境問題の責任があると主張した。地球温暖化問題では、大気中の二酸化炭素濃度の上昇の大部分は先進国からの排出に起因するもので、その責任は先進国自らとすべきものであり、地球温暖化を理由として、開発途上国の工業発展や、森林伐採を制約するのはおかしいという意見である。こうした主張の背景には、開発途上国では貧困からの脱却が最優先の課題であり、また、それが環境問題への対策としても有効であるとする考えがある。

他方、先進国からは、今日の地球環境問題は全世界共通の問題であり、温暖化やオゾン層の破壊などの地球環境の悪化の被害は、先進国、開発途上国の区別なく被るのだから、先進国、開発途上国を問わず、地球環境問題に対して共通の責任があり、協力して取り組み、二酸化炭素を削減しなければならないと主張した。

発展途上国にとってさらに心配なことは、自国の主権が侵害されることである。開発途上国は、領土内の自然資源については、自国の環境・開発政策にしたがって自国の自然資源を自由に利用する権利は尊重されるべきである。また、地球上のすべての人間は豊かな生活水準を享受する権利があり、そのために開発する権利を有することを主張した。

地球温暖化対策をはじめとした地球環境問題を巡る先進国と発展途上国の対立は、広範囲にわたり激しい。先進国は、環境破壊を伴いながら経済成長を推し進める発展途上国の姿勢に警告を発する。これは先進国の過去の歴史を教訓とし、同時に今後の地球環境維持を狙ったものであるが、発展途上国は自分の放出量が先進国と比べて、相対的に少ないから、先進国が先に責任を果たすべきであると主張する。また、先進国の犠牲になって、自分たちの経済成長を断念することはできないとの認識がある。経済成長は発展途上国の当然の権利であると主張する。地球環境問題を議論するならば、先進国が相応の資金援助をすべきであり、しかも、それは「援助」ではなく当然の「補償」であるとも主張する。また、持続可能な開発を現実のものとするには、先進国による国際協力が不可欠である。特に資金援助が不可欠となる。UNCTAD事務局の試算によれば、持続可能な開発を進める上で毎年約1,250億ドルの資金が必要とされる。先進国からのODA援助総額は、

現段階ではその半分も満たされていない。

イ. 先進国同士の対立

地球温暖化問題に対する取り組みを考える上で、先進国同士の対立も見逃がせない。この対立は、もっぱら欧州諸国とアメリカの対立で理解されているが、欧州諸国内部でも足並みが一致している訳ではない。以下では、温暖化問題に対する取り組み姿勢をいくつかのグループに分けて考察しよう。

a) 積極的推進派（北欧諸国、オランダ、カナダ、フランス、ドイツ）

北欧諸国、オランダ、カナダは環境問題に関する国際会議において常に国際世論の盛り上げや新しい国際ルールづくりに積極的な役割をはたしてきた。スウェーデン、ノルウェー、フィンランド、オランダでは既に炭素税も導入されている。

スウェーデンは1972年に自国で開催された国連人間環境会議（ストックホルム会議）以来、一貫して国際的な環境保全問題に対し熱心に対処してきた。特に、国連の欧州経済委員会、国連環境計画管理理事会（UNEP）、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）等において積極的な役割を果たしている。

オランダも、1989年の大気汚染と気候変動に関する国際会議の主催国となった。また、早くから積極的な環境政策を施行し、二酸化炭素の排出削減目標を設定しその具体化に向けて動き出している。

1987年にモントリオール議定書が締結され、オゾン層保護のために特定のフロンなどの生産・使用を向こう10年間に半減することが国際的に合意されたのも、カナダ政府主催の会議においてであった。また温暖化対策としての二酸化炭素削減への具体的な目標設定を提案したのもカナダ政府である。

フランスは、従来 EC 共通環境政策には反対ないし消極的態度を示してきた。しかし、1989年3月にはオランダとノルウェーの協力を得たうえで、地球大気に関する首脳会議（環境サミット）をオランダのハーグで開催し、ラゲ宣言を採択した。このときフランスが当初意図したのは、強力な権限を持った温暖化防止のための新しい国際機関の設立だった。しかし、一部の国から IPCC 等既在機関の拡充を図るのが先決との意見が出され、フランスのもくろみは挫折した。フランスが温暖化対策ですばやく積極的推進派へ方向転換したのは、政治経済的な背景がある。まず第一に、二酸化炭素排出削減の

必要性を唱えることの裏には、全発電量の65%以上を原子力に依存する世界一の原発推進国である事情がある。第二には、EC 統合を目前にとらえて、温暖化問題をきっかけに独自の政治的イニシアティブの発揮を目指した。

旧西ドイツも、従来は環境保全への国際的取り組みに対して消極的であった。特に酸性雨問題では、被害国である北欧諸国からの提案に対し、長い間一貫して消極的な対応に終始してきた。温暖化問題への対応についても同様であった。しかし、1989年11月にオランダでひらかれたノルドベイク会議以降、旧西ドイツ政府は明確に従来の姿勢を180度転換させた。その流れに沿うのが翌90年6月の閣議決議であり、それによると2005年までに二酸化炭素排出量を1987年レベルより25%削減していくという、極めて大胆な目標を設定した。

b) 慎重対応派（イギリス、日本）

先進国の中でもイギリスと日本は、地球温暖化の予防策として二酸化炭素排出量削減策をとることに慎重姿勢を見せている。

イギリスの場合は国益を優先する姿勢が強く、EC 共通環境政策の推進には冷淡な対応をとり続けてきた。しかし、1990年5月にロンドンで開催された IPCC 第1部会では、サッチャー首相自ら2005年までには二酸化炭素排出量を1990年レベルに抑制する用意があると声明した。その直後の6月の EC 環境大臣会議では、2000年までに二酸化炭素排出量を安定化させるという EC 共通目標の設定に反対の態度を表明した。サッチャー首相の発言の背景には、民営化が困難な原子力発電所のために「原発推進税」を導入する構想があり、その根拠として温暖化対策を利用したという経緯があった。従って、その後原発推進税の導入が思或通りに進まなくなると、再び温暖化対策への意気込みも消えうせてしまった。

日本は、温暖化問題に関する一連の国際会議の舞台では、伝統的にアメリカの主張にほぼ同調する立場をとり、むしろ消極的な立場をとってきた。これは、国内的には通産省サイドの主張が通ってきたことを意味するが、1989年11月のノルドベイク会議では温暖化対策に積極的姿勢を見せる環境庁サイドとの対立があった。この会議では、結果的に通産省サイドの主張が通ったが、これを境にしてある程度は日本独自の立場を示すようになってきた。1989

年5月には閣議によって、関係行政機関の緊密な連絡を確保するために地球環境保全に関する関係閣僚会議の開催が決められた。1990年10月には、1人あたり二酸化炭素排出量を2000年以降、おおむね1990年レベルで安定化させることなどを内容とする「地球温暖化防止行動計画」を策定した。ただし、この行動計画の目標設定に関しては内外から、現状追認型の慎重な対応を態度表明したものすぎないとの批判もでてくる。

c) 抵抗派（アメリカ）

アメリカは世界で最大の二酸化炭素排出量国であり、1988年に全世界の二酸化炭素排出量の25%を占めている。その国内事情を反映して、温暖化対策としての二酸化炭素排出量の削減はもとより、その安定化に対しても一貫して抵抗姿勢をとり続けてきた。1992年の地球サミットで締約された「地球温暖化防止条約」でも、アメリカの主張を大幅に取り入れた結果、二酸化炭素の排出抑制の目標も当初考えられていたものから比べて大幅に後退したものになってしまった。

アメリカ経済が二酸化炭素を大量に発生させているのは、エネルギーの需給構造から明らかである。需要面でみれば、都市構造はアメリカ文明を代表する自動車を中心とした交通・輸送システムに過度に依存している。このため、石油を大量に消費する経済構造は簡単には変革できない。さらに、ガソリン価格がヨーロッパの約4分の1と低いにもかかわらず、政治的にガソリン税を引き上げることが困難となっているのは、温暖化問題への対応を困難にしている。一方、供給面では、石炭・電力問題がある。アメリカには大量の石炭があり、その埋蔵量は300年分と推定されている。1990年に、アメリカは約10億トンの石炭を生産し、そのうち78%が電力で消費されている。

ウ. 発展途上国間相互の対立⁵⁴⁾

1991年6月、44カ国の発展途上国が参加して「環境と開発に関する開発途上国会議」が北京で開催され、北京宣言が採択された。この宣言において、発展途上国が一致して主張したのは以下のことである。すなわち、温暖化対策としての二酸化炭素排出規制は、基本的に先進国サイドの責任と負担において行われる必要がある。また、先進国は発展途上国に対して、新たな枠組での十分な資金援助（補償）と特恵的な技術移転を行うべき義務があると主張す

る。

しかし、発展途上国の足並みが一致しているわけではない。これは、発展途上国といっても、その発展段階によって、あるいはエネルギー資源の保有国がどうかによって立場が異なるからである。例えば、OPEC諸国は化石燃料、特に石油の使用抑制に対して非常に神経質になっている。石油使用の抑制はそのまま国家収入の減少を意味するからである。また、移行期にある旧社会主義諸国も、二酸化炭素の排出抑制はただでさえ停止気味の生産活動に対する新たな制約条件となることから、特別な配慮を求めている。

いずれにしても、多くの発展途上国にとっては、環境保全の重要さは総論として賛成しても目今の経済開発と比較すると、明らかに経済開発が優先される状況にある。いかにして自国がより早くテイク・オフできるか、そのためにいかにしてより多くの先進国から援助を獲得するかを巡って、発展途上国間相互でも内部の競争があるのである。

地球環境問題の合意に関する各国の対応が慎重になっているのは理由がある。地球温暖化の問題を根本から解決するためには、現在の二酸化炭素の放出量の70%を減らさなければならない。既に炭素税を実施しているいわゆる環境保護先進国の北欧諸国は二酸化炭素の抑制目標はせいぜい1990年のレベルで安定させるという目標である。この目標は温暖化の問題を解決できるまでの水準にはほど遠いのである。例えば税金調整手段（最も効率的な手段）でこの目標を達成するために、炭素単位に税金を課すシステムを世界で運用するとする。炭素税によって炭素中心製品の消費者価格は高くなるが、生産者価格は低くなる。この炭素税の実施によって各国に生じる影響はさまざまである。各国がこれによって生じる利益・損失の差も大きく違おうであろう。もし、炭素エネルギー原料に関する供給の価格弾力性が低いならば、この炭素税は生産者によって大きく負担され、一般的にOPECの国々はこの炭素税に不満であろう。逆に、供給の価格弾力性が高いならば、消費者によって大きく負担される。この場合はOECDの国々に対して、消費者の不満が集まるにちがいない。国の産業構造によって炭素税に対する負担も違ってくる。エネルギー集中産業、例えば、鉄鋼、化学工業など産業を中心とする国と、これらの産業を中心としない国との態度には違いがある。

炭素税手段で二酸化炭素を減らすということに議論がなくても、炭素税によって集まった資金はどう分配されるか、どのような用途に使われるかという問題がある。この問題はおよそ税手段による問題が大きい。なにしろ、炭素税により徴収される金額は相当大きい。Whalley and Wigle⁵¹⁾が一般均衡モデルでこれを試算した。彼らの試算の結果、1990—2030年の40年間で、もし、世界の二酸化炭素がこの期間のベースラインの50%を減らすならば、徴収された税金はおよそ40—50兆(trillion)ドル(90年価格)であり、これはこの時期の世界の総生産の10%にのぼる、炭素エネルギー中心の製品の消費価格の85%は税金に当たる。炭素の1トン当たりの税金は460ドルである。このモデルは世界を6つの地域(グループ)、EC、北アメリカ、日本、他のOECD、主要石油輸出国、発展途上国に分けて、以下のシナリオで試算した。

1. 製品段階で各国の政府によって税金を徴収する。各地域でベースラインの50%の二酸化炭素の放出量を減らすことを目標とする。
2. 消費段階では各国の政府によって税金を集中する。各地域で50%の二酸化炭素の放出量を減らす。
3. 世界における国際組織(例えば、国連)によって税金を徴収することとし、それを各国に人口割合で分配する。世界の50%の二酸化炭素の放出量

表3-1 炭素税で50% CO₂削減による各国私的利益の変化

	生産ベース 国に集中	消費ベース 国に集中	国際機関 に集中
EC	-3,840.5 (-4.0)	-1,006.1 (-1.0)	-3,724.5 (-3.8)
北アメリカ	-5,494.4 (-4.3)	-4,576.5 (-3.6)	-12,442.0 (-9.8)
日本	-1,459.6 (-3.7)	215.3 (0.5)	-366.9 (-0.9)
他OECD	-487.0 (-2.3)	-440.1 (-2.1)	-939.9 (-4.4)
石油輸出国	1,191.4 (+4.5)	-4,901.9 (-18.7)	-3,416.7 (-13.0)
発展途上国 など	-9,392.3 (-7.1)	-8,994.4 (-6.8)	2,371.2 (1.8)
全世界	-19,482.4 (-4.4)	-19,704.1 (-4.4)	-18,516.1 (-4.2)

資料：文献⁵¹⁾による。

を減らす。

4. 各国独自の税率で、世界の50%の二酸化炭素の放出量を減らす。各国の1人当たりの二酸化炭素の消費量と同じになる。

この4つの案によって各国に生じる経済損失と利益は様々である。このモデルの試算結果から有益な示唆が得られる。まず、試算の結果を見よう。

表3-1の第1列は生産段階で、各国の政府によって独自に徴収して、この集中された税金はその国の税源としてその国で使われる。この炭素税は間接税の一種であるから、その国で資源再分配の役割をはたし、その国の厚生は一部失われてしまう。Hicksian補償変分で、この炭素税によりその国の私的利益(環境改善の利益は含めていない)の変化分を推測した。

表3-1の第2列は消費段階で各国の政府によって独自に徴収して、徴収された税金はその国の税源になる。同じく、Hicksian補償変分で各国の私的利益の変化分を推測した。

表3-1の最後の列は国際的組織によって徴収して、徴収された税金は各国に人口の割合で分配する。

表3-2は各国の1人あたりの放出量を同じにして、世界の放出量を半分に減らすことによって生じる各国の私的利益の変化分である。これもHicksian変分で各国の私的利益(環境の改善によってもたらす利益を含めない)を推測した。

第1案(生産段階で各国徴収)では、石油輸出国以外の国はすべて私的利益が減少になる。化石燃料に税金をかけたとき、化石燃料の純税率は560%に上り、化石燃料の輸入国に負担をかけてしまう。特

表3-2 各国の人当たりの二酸化炭素の放出量が同じ場合の各国の私的利益の変化

EC	-6,220.3	(-6.4)
北アメリカ	-23,698.5	(-18.6)
日本	-985.0	(-2.5)
他OECD	-1,431.2	(-6.7)
石油輸出国	-3,959.8	(-1.2)
発展途上国	-1,549.9	(-1.2)
全世界	-37,844.7	(-8.5)

資料：文献⁵¹⁾による。

に、途上国の負担が最大である。この場合は発展途上国は発展のチャンスがなくなると言っても過言ではない。

第2案では石油輸出国の負担が最大である。各国の炭素税によって、化石燃料の粗価格(税金を含む)は急騰し、それによって化石燃料の使用は減少する。よって、石油輸出国の石油輸出は減少しなければならない。他方、純価格(税金が含まない)は下落し、この二重の要因によって石油輸出国の収入は減少する。

第3案(国際機関による徴収)では、途上国が事実上、私的利益を得られる。この案で世界トータルの私的利益の減少分は最少である。

第4案では先進国の負担が最大である。この案では世界トータルの私的利益の減少分は最大である。

この4つの案はすべて世界の二酸化炭素の放出量が半分になる。地球温暖化の問題を解決するための物理的な効化はすべて同じである。温暖化によって生じた社会的コストの減少分は4つの案すべて同じである。この点に留意しよう。効率的な面からみれば、私的損害が最も少ない案が最も効率であると言える。

第1案、第2案は、各国ともに同じペースで50%の二酸化炭素を削減する。各国が同じペースで削減するという案は途上国に最も反対されている案である。途上国が生産し、消費した炭素分はもともと先進国よりずっと少ないから、同じペースで削減するのはおかしいという、途上国の反論がある。この反論の裏には、途上国がこの案から受ける打撃が最大である理由による。

第3案は最も注目された案であり、途上国にとってもこの案が最も望ましい。だが、先進国が簡単に同意できるわけではない。もし、地球上すべての人々が二酸化炭素を放出する権利は同じであるという倫理が認められ、かつ放出権の取引ができるならば、第3案はこの倫理観に基づく放出権の分配案に一番近い結果となる。

第4案は人々が二酸化炭素を放出する権利は同じであるという倫理観に基づく放出権の分配案である。但し、放出権の取引は行われない。明らかに、第4案は第3案に完全パレート支配されている。

註

(註1) 第4章の(註)を参考のこと。

(註2) ゲーム理論は、利害をことにする複数主体間の相互依存関係を厳密に表現し、その構造を分析するものであって、実証的側面と規範的側面との両面を持っている。ゲーム理論は、行動し意志決定する主体をプレーヤー(Player)と呼び、プレーヤーを明確に定義することから出発する。そして各プレーヤーとりうる行動の集合を定義する。ここで行動というのは、生産量、汚染放出量、政策などを意味し、プレーヤーのとる一連の行動コースをあらかじめ計画したので、しばしば戦略(strategy)とよばれる。プレーヤーが相互依存関係のもとで、なんらかの行動の結果得られるものを利得(payoff)とよぶ。

一般的にゲームにおいて、各プレーヤーが全く自己の意志のみによって行動を選択するゲームを非協力ゲーム(non-cooperation game)あるいはゲームといい、とるべき行動を規制しあうことのできるゲームを協力ゲーム(cooperation game)という。現実の結果はゲームの均衡点であると考えられる。したがって、ゲームの均衡を分析するのは現実の結果を予測することに当たる。均衡点の概念は(註3)を参考のこと。

(註3) N人ゲームの均衡点配下のように定義される。

プレーヤーの集合を $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 、プレーヤー i の戦略集合を S_i 、利得関数を f_i としたとき、戦略の組 $n^* = (s_1^*, \dots, s_n^*)$ 、利得ベクトル $x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$ がすべての i について、
$$x_i^* = \max_{s_i \in S_i} f_i(s_i^*, \dots, s_i^*, s_{i-1}^*, s_i, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*)$$
 をみたすとき、 s^* を戦略についての均衡点という。このゲームの均衡点の概念は Nash (John F. Nash, Jr.) によって定義されたので、Nash 均衡 (Nash equilibrium) とよばれる。ただし、一般には均衡点はただ一つとは限らず、また利得に関する均衡点はパレート最適であるとは限らない。

第4章 地球環境問題と国際合意の必要性

静学的なモデルによる研究は数多くある^{7),19),30)}。すべての研究は環境問題が囚人のジレンマによってパレート非効率性を生じると指摘している。囚人ゲームが繰り返しプレーされるとき、パレート非効率性の問題は解消できる。つまり、パレート効率は Nash 均衡(註1)およびパーフェクト均衡(註2)によって支持される。従って、最近の研究はダイナミックゲームで地球環境問題を論じ、地球環境問題

が動学的モデルの中で解決できると述べている¹⁰⁾。更に、パレート効率の結果が Markov-perfect 戦略 (注3) により支持されるならば、地球環境問題は制裁、条約によらずに、対話のみで解決できる分析する。非協力ゲームの均衡は各プレーヤー (各国の政府) の自主的な行動により達成できる。この均衡において各プレーヤーは違反を犯すインセンティブがないから、合意 (条約) がなくても、この均衡の結果は保証される。

本章はパレート効率は Markov-perfect 均衡の結果ではないこと、また、Markov-perfect 均衡の結果は非効率であることを論ずる。パレート効率は非協力ゲームの均衡からは得られず、またこのパレート効率の結果を維持するためには、国際条約は不可欠となる。対話によるだけでは地球環境問題は解決できないこと論証する。

本章は4節によって構成される。第1節は本章の分析モデルを提出する。本章で現実の地球環境問題を二カ国のダイナミックゲームに抽象化する。Markov-perfect 均衡は再交渉立証 (Renegotiation-Proofness) (注4) と一致する。もし、ある特定の戦略ペアが、二カ国間ゲームの中で、パーフェクト均衡でなければ、この特定の戦略によって構成された結果は、多国のモデルの中で、明らかに再交渉立証を満たさない。協力戦略 (注5) の結果を維持するためには、あくまでも合意は必要である。合意がなければ、協力戦略は実行できない。第2節はパレート効率の基準として協力戦略の結果を持ち込む。非協力線形戦略の均衡は協力戦略と比較した結果、パレート効率を満たさない。第3節は非線形戦略について分析する。現実の問題の中ではいろいろな制約がある。これらの制約を満たす戦略の中で、パレート効率を保証する戦略ペアはパーフェクト均衡ではないことを証明する。第4節では本章の政策の含意および残された問題について再び検討する。

1. 分析の基本モデル

本論文は主に二酸化炭素のような「完全に」 (pure) 望ましくない公共財 (public bads) 性質を持っている汚染物質を扱っている。「完全」というのは、完全拡散性を持ち、完全に競合性がないという意味である。完全拡散性という意味は、上空の二酸化炭素濃度は各国にとって同一であることである。完全に競合性がないという意味は、一国が二酸化炭素の上昇より被害を被ることによって他国の被害を

緩和しないという意味である。この仮定によって、各国は同様な環境質で生活しているとみなす。ここでいう環境質とは大気中の二酸化炭素の量、濃度等客観的な指標を指している。

産業革命以前、地球上の二酸化炭素の放出量と二酸化炭素の吸収量とはほぼ均衡していたが、産業革命以降の大規模な化石燃料消費によって大きく崩れた。もし、産業革命以前の二酸化炭素濃度 (あるいは量) を基準値とした時、現在の環境はこの基準値以下の環境質を達成できない。産業革命以前の二酸化炭素の放出量を比較の基準値とした時 (つまり、産業革命以前の放出量はゼロ値として設定)、現在のどんな技術でも、ゼロ以下の放出はできない。

人類が経済活動をする以上、エネルギーは不可欠である。エネルギーといえば、化石燃料、太陽エネルギー、水力発電、原子発電など様々なエネルギーがある。長期的にこれらのエネルギーは調整コストが不可欠である上で代替可能であるが、短期的 (年間単位) には大きな転換は不可能である。二酸化炭素の放出を減少するために化石燃料の使用を減少させることは、短期的に重要なエネルギーの転換が不可能な時に限り化石燃料の使用の急減は生産を激減させるので、現実には不可能である。各国の二酸化炭素の放出は時の連続関数である。本節は以上の事実に基づいて論理展開する。

われわれは二つの国を仮定する。この二の国は自給自足で単一の財を生産する (注6)。財を生産するとともに汚染物を放出して、それは環境汚染源になる。

Q_i は i 国の財である。 E_i は汚染放出である。 $Q_i = T_i(E_i)$ の関係である。ここでは T_i は i 国の技術を表す。国 i の効用 $U_i(Q_i, P)$ は Q_i, p について分離性を満たすと仮定すると

$$U_i(Q_i, P) = V_i(Q_i) - C_i(P) \quad (4-1)$$

P は各国にとって共通である。 $V_i(Q_i), C_i(P)$ は次式に特定化される (注7)。

$$V_i(Q_i) = V_i(T_i(E_i)) = A_i E_i - \frac{B_i}{2} E_i^2 \quad (4-1A)$$

大きな E は多くの財を生産する。もちろん多い財は大きな効用をもたらすが、財を生産するために時間、努力等を使うため、ある水準以上の多くの財はその国にとって、限界効用を負にする。

$$C(p) = \frac{1}{2} S_i p^2 \quad (4-1B)$$

汚染問題は限界コスト(負効用)の通増である。これは現実に基づいた仮定である。静的モデル $p = E_1 + E_2$ である。つまり、

$$U_i = AE_i - \frac{1}{2}E_i^2 - \frac{1}{2}s(E_1 + E_2)^2 \quad i=1, 2 \quad (4-2)$$

この式は、国 i にとっては、自国のみの汚染放出だけではなく、他国の汚染放出も自国の環境に完全に悪影響を与えることを意味する。これは完全に望ましくない「公共財」(public bads)の特徴、つまり、国際環境問題の典型である。

各国の最大化によって、

$$\frac{\partial U_i}{\partial E_i} = A - E_i - s(E_1 + E_2) = 0 \quad i=1, 2$$

$$E_1 = E_2 = \frac{A}{1+2s} = E^{**}, \quad p^{**} = \frac{2A}{1+2s} \quad (4-3)$$

$$U_i^{**} = A \frac{A}{1+2s} - \frac{1}{2} \left(\frac{A}{1+2s} \right)^2 - \frac{1}{2} s \left(\frac{2A}{1+2s} \right)^2$$

$$= \frac{A^2}{2(1+4s+4s^2)} \quad (4-3A)$$

両国が協力によって両国の総効用を最大化する時、得た結果はパレート効率となるが、このときの戦略は拘束がない限り、実行できない。この戦略は協力戦略と呼ばれる。

協力戦略によって、

$$\frac{\partial U}{\partial E_i} = 2A - 2E_i - 8sE_i = 0 \quad i=1, 2$$

$$U = U_1 + U_2$$

$$E = E = \frac{A}{1+4s} = E^{00}, \quad p^{00} = \frac{2A}{1+4s}$$

それぞれの利得は、

$$U_i^{00} = A \frac{A}{1+4s} - \frac{1}{2} \left(\frac{A}{1+4s} \right)^2 - \frac{1}{2} s \left(\frac{2A}{1+4s} \right)^2$$

$$= \frac{A^2}{2(1+4s)} \quad (4-4A)$$

明らかに、 $U_i^{00} > U_i^{**} (i=1, 2)$ 、 p^{**} の状態はパレート非効率の状態である。

もし、プレーヤー2が自主的に協力戦略を取り、プレーヤー1が自己利得最大化の行動を取るならば、

$$\frac{\partial U_1}{\partial E_1} = A - E_1 - s \left(E_1 + \frac{A}{1+4s} \right) = 0$$

$$E_1^{*0} = \frac{A(1+3s)}{(1+4s)(1+s)} > \frac{A}{1+2s} = E^{**}$$

$$U_1^{*0} = \frac{A^2}{2(1+4s)^2(1+s)^2} [(1+4s)(1+s)^2 + 4s^2 + 4s^3] > U_i^{00}$$

そのとき、プレーヤー2の利得は

$$U_2^{*0} = \frac{A}{1+4s} - \frac{1}{2} \left(\frac{A}{1+s} \right)^2$$

$$- \frac{s}{2} \left[\frac{A}{1+4s} + \frac{A(1+3s)}{(1+4s)(1+s)} \right]^2$$

$$\therefore U_2^{*0} - U_2^{00} = \frac{2sA^2(s+5s^2+11s^3+8s^4)}{(1+2s)^2(1+4s)^2(1+s)^2}$$

$$\therefore U_2^{*0} > U_2^{00}$$

両国が協力 E0 戦略を取るならば、両国にとって最大の利得が得られる。しかし、国1は国2が協力戦略を取っているという前提において、自国(国1)が違反戦略を取るなら (E_1^{*0} を取る)、更に高い利得が得られる。国2はこの事態を知っているから、事前に予防措置を取らなければならない。つまり、すべての国に取っては自国の利益のみの最大化という戦略が支配戦略であるから、協力戦略は強力な約束がない限り実行できないのである。ここでは、典型的な環境問題の一つが生じる。次の戦略型ゲームを示す。

	E 20	E 2*
E 10	5, 5	- 2, 8
E 1*	8, - 2	0, 0

図4-1 環境問題に関する二カ国間の静学的ゲーム

周知の通り、囚人ゲームが繰り返しプレーされる時、違反者は他のプレーヤーの報復を恐れているから協力戦略は維持される。この協力結果がパーフェクト均衡であることはすでに証明されている^{11),14),15)}。この問題は、報復(制裁)を実施する時違反者に打撃を与えるが、制裁を実施する国にとっても損害をもたらすので、再交渉が行われ制裁はしばしば実行できないことになる。この繰り返しゲームのパレート効率の結果が再交渉の標準で成り立つかどうか重要な問題である。つまり、自主的な戦略によってパレート効率が維持できるかどうかの問題である。Dockner, Long¹⁰⁾は長期的な(環境)ゲームの中で、このような均衡があると述べている。本論文では、このような均衡は成立しないこと、つまり、環境問題が自主的あるいは対話のみによっては解決できず、国際条約が不可欠であることを主張したい。

動学的なモデルでは、環境汚染が一回の汚染放出によって引き起こされるのではなく、長期間の連続放出と関係している。もう一方で、自然界は自らの浄化能力を持っているから、環境汚染のストックと放出の関係は以下の式で表される(註8)。

$$\frac{dp}{dt} = E_1(t) + E_2(t) - kp(t) \quad p(t_0) = p_0$$

ここでは、kは自然の汚染に対する浄化率である。二つの国の汚染放出は、ともに環境汚染をもたらす。p₀はある対象期間の初期状態で、既存する環境状態である。同時に、各国の目標は瞬間の効用最大化ではなく、長期的な効用を最大化することである(註9)。

$$\max_{E_i(t)} \int_0^{\infty} \left[A_i E_i - \frac{1}{2} E_i^2 - \frac{1}{2} s_i p^2 \right] e^{-rt} dt \quad (4-5)$$

$$s \cdot t \frac{dp}{dt} = E_1(t) + E_2(t) - kp(t)$$

$E_i(t) \in [0, \infty)$ Lipschitz 連続。

初期条件 $t_0=0, p|_{t=0}=p_0$

ここでは、rは割引率である。

以下、われわれはこの式に基づいて、議論を展開する。

2. 協力戦略と非協力線形戦略

環境汚染pは“public bads”であり、外部性の性質を持っている。両国の加重合計した効用を最大化すれば、パレート効率が成立することは自明である。

われわれは協力結果を基準として、非協力結果(註10)と比較する。協力すれば、

$$\max_{E_1, E_2} \int_0^{\infty} \sum_{i=1,2} a_i \left[A_i E_i - \frac{1}{2} E_i^2 - \frac{1}{2} s_i p^2 \right] e^{-rt} dt$$

$$a_1 + a_2 = 1$$

$$s \cdot t \frac{dp}{dt} = E_1 + E_2 - kp$$

初期条件 $P|_{t=0} = P_0$

この問題は最適制御の問題である。静止状態はわれわれにとって最も関心がある。二つの同格な国にとっては

$$a_1 = a_2 = a, \quad A_1 = A_2 = A, \quad s_1 = s_2 = s$$

その時、

$$p_{st} = \frac{2A(k+r)}{k(k+r)+4s} \quad (4-6A)$$

$$E_1 = E_2 = \frac{kp^*}{2} = \frac{2A(k+r)k}{k(k+r)+4s} \quad (4-6B)$$

この結果はパレート効率を満たす結果である。つまり、環境と経済の調和である。しかし、この結果

は国際条約に依存しなければならない。なぜならば、この結果はNash均衡ではない。任意の一国にとって、この協力戦略に違反するインセンティブがある。

では、非協力ゲームの場合はどうするか。ここではMarkovゲームを考える。Markovゲームでは、任意のプレイヤーが自分の行動を採用する時、他国の行動を考しない、単なる状態を考慮する。プレイヤーは他のプレイヤーの行動を考慮しないから、このようなパターンパーフェクト均衡は再交渉立証の条件を満たすのは明らかである。制裁に依存している均衡(この均衡が再交渉に満たさない)がパレート効率に一致するという結論は、すでに理論経済学で解決されている。ここでの問題は再交渉を満たす均衡について分析するので、Markovゲームは妥当である。

非協力戦略は各国が自国の利得を最大化するという行動である。

$$\frac{\partial H^i}{\partial E_i} \leq 0 \quad (=0 \text{ if } E_i > 0) \quad i=1, 2$$

$$\frac{d\lambda_i}{dt} = -\frac{\partial H^{i0}}{\partial p} - \frac{\partial H^{i0}}{\partial E_j} \frac{\partial E_j}{\partial p} + r\lambda_i \quad (i, j=1, 2 \quad i \neq j)$$

$$\frac{dp}{dt} = E_1 + E_2 - kp$$

ここでは

$$H^i = \left(AE_i - \frac{1}{2} E_i^2 - \frac{1}{2} s p^2 \right) + \lambda_i (E_1 + E_2 - kp) \quad (i=1, 2)$$

汚染放出は非負であるから、

最大化条件によって、

$$E_i = \max\{A_i + \lambda_i, 0\} \quad i=1, 2$$

つまり、 $\lambda > -A$ ならば、 $\lambda = E - A$ 、その時、

$$\frac{dE_i}{dt} = s_i p + (k+r)(E_i - A_i) - (E_i - A_i) \frac{\partial E_j}{\partial p}$$

$i=1, 2$

$$\frac{dE_i}{dt} = \frac{\partial E_i}{\partial t} + \frac{\partial E_i}{\partial p} \frac{dp}{dt} \text{ によって、更に、われわれ}$$

は安定な政策を考察する。

つまり、 $\frac{\partial E_i}{\partial t} = 0$ 、従って、

$$s_i p + (k+r)(E_i - A_i) - (E_i - A_i) \frac{dE_j}{dp} - \frac{dE_i}{dp} \frac{dp}{dt} = 0 \quad (4-7)$$

このゲームの線形戦略はNash均衡として存在し、この均衡はパーフェクションであるという結論

はよく知られている。

ここでは $E_i = c_i + b_i p$ と設定して、さらに、(4-7) 式は次の式になる。

$$s_i p + (k+r)(c_i - A_i + b_i p) - (c_i + A_i + b_i p)b_j - b_i(c_1 + c_2 + b_1 p + b_2 p - kp) = 0 \quad (4-7A)$$

(4-7A) は任意の汚染ストック P にたいして成立するから、(4-7A) 式の二つの定数項と P の係数はともに 0 にならなければならない。従って、パラメータ a_1, b_2, b_1, b_2 は次の四の方程式によって求められる。

同格の二つの国にとっては簡単に計算できる。

$$s_1 = s_2 = s, \quad A_1 = A_2 = A$$

$$c_1 = c_2 = c, \quad b_1 = b_2 = b$$

$$b_{1,2} = \frac{1}{3} \left\{ k + \frac{r}{2} \mp \sqrt{\left(k + \frac{1}{2}r\right)^2 + 3s} \right\} \quad (4-8)$$

ここでは

$$b_1 = \frac{1}{3} \left\{ k + \frac{r}{2} - \sqrt{\left(k + \frac{1}{2}r\right)^2 + 3s} \right\}$$

の戦略によって安定均衡である。もう一つの均衡は安定均衡ではない。安定な b によって

$$c_1 = \frac{2Ab}{k+r-3b} + A = \frac{2A}{3} \left[\frac{k + \frac{r}{2} - \sqrt{\left(k + \frac{1}{2}r\right)^2 + 3s}}{\frac{r}{2} + \sqrt{\left(k + \frac{1}{2}r\right)^2 + 3s}} \right] + A \quad (4-9)$$

静止状態にある汚染ストックは $2c + 2bP^* - kP^* = 0$ である。したがって、

$$P_{ni}^* = \frac{2c}{k-2b} = \frac{2A \left(1 + \frac{2b}{k+r-3b}\right)}{k-2b}$$

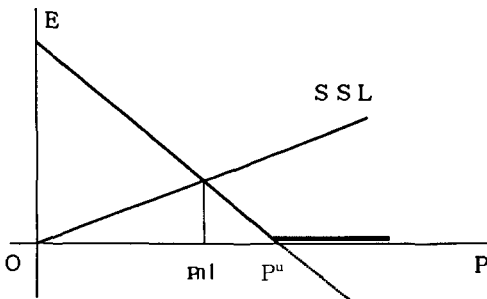


図 4-2 非協力ゲームの線形戦略

註： $E(p) \geq 0$ という制約がなければ、均衡戦略は直線であるが、この制約があれば、均衡戦略は折線である。

$$\frac{2A \left(2k + \frac{5}{2}r + \sqrt{\left(k + \frac{r}{2}\right)^2 + 3s}\right)}{\left(\frac{r}{2} + \sqrt{\left(k + \frac{r}{2}\right)^2 + 3s}\right) \left(k - r + 2\sqrt{\left(k + \frac{r}{2}\right)^2 + 3s}\right)} \quad (4-10)$$

放出 E_i に対して制約がなければ、 $E_i = A_i + \lambda_i$ である。しかし、国家にとっては、放出が非負であるという事実があるから、 $E_i \geq 0$ が成立するだけでこの微分方程式は成立する。 $p > p^u$ の部分は、まだ定義していない。すべての p にとって $E(p)$ が定義されるから、 $E(p)$ は戦略といえる、 $p > p^u$ のとき $E(p) = 0$ に拡張できる。つまり、図 4-2 のような戦略である。この戦略ペアはパーフェクト均衡であるということを次の節で証明する。

$$E(p) = \begin{cases} c + bp & p \leq p^u = -\frac{c}{b} \\ 0 & p > p^u \end{cases} \quad (4-11)$$

【命題】 この非協力線形戦略の均衡により成り立つ汚染ストック p_{ni} は協力戦略により成り立つ汚染ストック p_c より大きい。

証明：

$$p_{ni} - p_c = \frac{2AS}{D}$$

ここでは

$$D = \left[\frac{r}{2} + \sqrt{\left(k + \frac{r}{2}\right)^2 + 3s} \right] \left[k - r + 2\sqrt{\left(k + \frac{r}{2}\right)^2 + 3s} \right] [k(k+r) + 4s]$$

$$S = \left[2k + \frac{5}{2}r + \sqrt{\left(k + \frac{r}{2}\right)^2 + 3s} \right] [k(k+r) + 4s] - (k+r) \left[\frac{r}{2} + \sqrt{\left(k + \frac{r}{2}\right)^2 + 3s} \right] \left[k - r + 2\sqrt{\left(k + \frac{r}{2}\right)^2 + 3s} \right]$$

分母、分子の A ともプラスであるから、式の記号は S の記号と一致している。

$$S = \left[2k + \frac{5}{2}r + \sqrt{\left(k + \frac{r}{2}\right)^2 + 3s} \right] [k(k+r) + 4s] - (k+r) \left[k \left(2k + \frac{5}{2}r + \sqrt{\left(k + \frac{r}{2}\right)^2 + 3s} \right) + 6s \right]$$

$$= \left(2k + \frac{5}{2}r + \sqrt{\left(k + \frac{r}{2}\right)^2 + 3s} \right) 4s - (k+r) 6s$$

$$= 2s(k+r) + \left(\frac{r}{2} + \sqrt{\left(k + \frac{r}{2}\right)^2 + 3s} \right) 4s$$

$r > 0$ だから $S > 0$ 、 $S > 0$ だから、非協力線形戦略により成り立つ汚染ストック p_{ni} は協力の p_c より大

きい。

証明完了。

この線形戦略の均衡によって地球環境問題は簡単に説明できる。もし、この均衡がこのゲームの唯一のパーフェクト均衡であれば、パレート効率状態（つまり地球環境問題の解消）になるために二つの国は協力しなければならない。あるいは制裁しなければならない。協力は国際法に依存している。制裁はなかなか実行できない。信頼できるのは国際法しかない。勿論国際法の締結は容易ではない。このゲームの中で、パレート効率の結果にパーフェクションがあるかどうか我々にとって関心事となる。

3. 非線形戦略と均衡

① 無制約の非線形解

線形戦略が求められたにも関わらず、微分方程式は非線形解が存在している。この非線形解に対応しているのは非線形戦略である。

$$s_1 p + (k+r)(E_i - A_i) - (E_i - A_i) \frac{dE_i}{dp} - \frac{dE_i}{dp} \frac{dp}{dt} = 0 \tag{4-12}$$

$$\frac{dp^*(t)}{dt} = E_1 + E_2 - kp^*(t)$$

この連立微分方程式の一般解を求めるのは難しい。同格の二つの国にとって、対称な戦略は有り得る。

$$sp + (k+r)(E-A) - (E-A) \frac{dE}{dp} - \frac{dE}{dp} (2E - kp) = 0 \tag{4-13}$$

つまり、 $\frac{dE}{dp} = \frac{sp + (k+r)(E-A)}{3E - kp - A}$

以下の式を設定する $\phi = E + a - A$, $q = p + b$ (4-14)

$\frac{dE}{dp} = \frac{d\phi}{dq}$ となる。

$sb + (k+r)a = 0$
 $2A + kb - 3a = 0$ を設定すると

$$\frac{d\phi}{dq} = \frac{s + (k+r)\frac{\phi}{q}}{-k + 3\frac{\phi}{q}} = G\left(\frac{\phi}{q}\right)$$

ここでは $a = \frac{2As}{3s + k(k+r)}$, $b = -\frac{2A(k+r)}{3s + k(k+r)}$ (4-15)

$\phi = \pi q$ を設定すると $q = \frac{d\pi}{dq} = G(\pi) - \pi$

$$\frac{dq}{q} = \frac{d\pi}{G(\pi) - \pi} = -\frac{\pi d\pi}{(\pi - z_a)(\pi - z_b)}$$

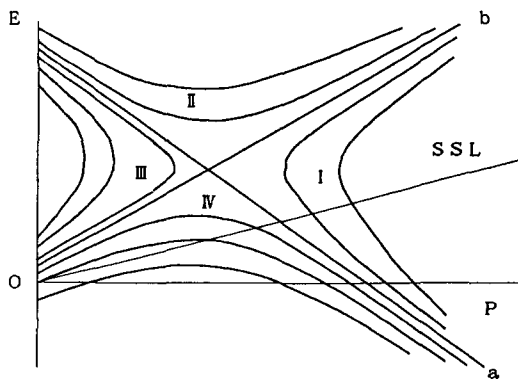


図4-3 無制約の非線形解のフェーズ I

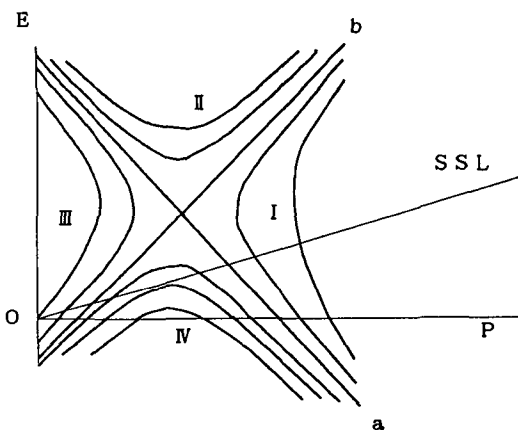


図4-4 無制約の非線形解のフェーズ II

$$+ \frac{\frac{k}{3} d\pi}{(\pi - z_a)(\pi - z_b)}$$

両側を積分して

$$\ln C + \ln q = \frac{1}{z_b - z_a} \left\{ \left(z_a - \frac{k}{3} \right) \ln(\pi - z_a) + \left(\frac{k}{3} - z_b \right) \ln(\pi - z_b) \right\}$$

ここでは、 z_a , z_b は次の方程式の解である。

$$z^2 - \frac{2k+r}{3}z - \frac{s}{3} = 0, \quad z_b \neq z_a$$

整理して、

$$Cq = (\pi - z_a)^{m_1} (\pi - z_b)^{m_2} \tag{4-16}$$

ここでは

$$m_1 = \frac{z_a - \frac{k}{3}}{z_b - z_a}, \quad m_2 = \frac{\frac{k}{3} - z_b}{z_b - z_a} \quad m_1 + m_2 = -1$$

(4-16) 式に $\pi = \phi/q$ を入れて、

$$C = (\phi - qz_a)^{m1} (\phi - qz_b)^{m2}$$

さらに、変換式 (4-14) を上の式に入れて、次の式になる。

$$C = \{E + a - A - Z_a(p+b)\}^{m1} \{E + a - A - Z_b(p+b)\}^{m2} \tag{4-17}$$

この方程式を表す曲線は図4-3と図4-4のようになり、a, b 二つの直線 $E + a - A = z_a(p+b)$, $E + a - A = z_b(p+b)$ は、前述した非協力線形戦略と対応している。すべての曲線はこの二つに関する漸近線であり、互いに交差しない。

SSL 線は $E_1 + E_2 - kp = 0$ を表す。つまり、

$$SSL = kp/2 \tag{4-18}$$

O 点は P 点の上、かつ SSL の勾配が b 線より小さいから、II 区のすべての戦略は SSL 線と交差しない。II 区内の戦略によって静息的な戦略を求めるのは不可能である。II 区は考慮しない。図4-3ならば、III 区の戦略は SSL と交差しない。図4-4の III 区の戦略が SSL と交差しているが、安定した状態になれない。いずれも、III 区の戦略を考慮しなくてもよく、I 区の戦略で得た安定的な汚染状態は P 点の汚染状態より大きく、かつ利益も小さい。線形戦略がパーフェクト均衡になる上で I 区の戦略を考えなくてもよい。これから先は、われわれは IV 区で分析する。

ここでは図4-3, 図4-4の縦軸は \hat{E} である。 $\hat{E} \geq 0$ のみが E と等しい。前述したように $\hat{E} < 0$ 時、 \hat{E} は戦略ではない。もう一方、戦略と言え、状態空間のすべての状態を想定しなければならない。

$$p \in (p_a^d, p_a^u] \text{ とき } \hat{E}(p) = E(p)$$

$$p \in (p_a^d, p_a^u] \text{ とき } E(p) \geq 0$$

連続性によって

$$\lim_{p \rightarrow p_a^d} E(p) = \hat{E}(p_a^d), \lim_{p \rightarrow p_a^u} E(p) = \hat{E}(p_a^u)$$

すべての $p \in P$ の p にとって E(p) が定義されるから、E(p) は戦略と呼ばれる。

SSL 線と a 直線の交差点は、線形戦略により得た安定的な汚染ストック p_{n1} である。この汚染ストックは常に協力戦略から得た汚染ストックより大きいので、バレート非効率性の問題が生じる。しかし、方程式が表す非線形戦略の数は無数であるから、これら非線形戦略により得た安定的な汚染ストックは協力戦略で得た汚染ストックに近付けることができるであろうか。非協力ゲームの非線形戦略

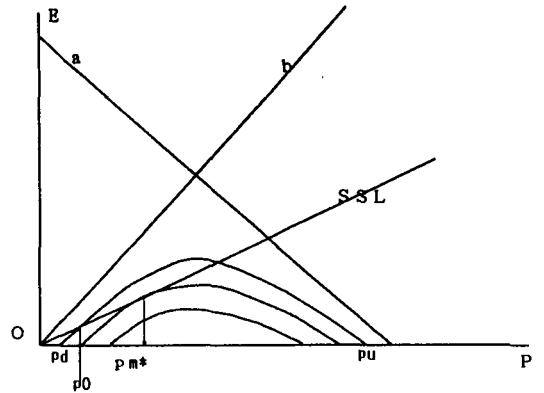


図4-5 興味がある戦略

注：このような代表的な曲線は $q(q=1, 2, \dots, m, \dots)$ 曲線の横軸交差している左点と右点は別々 p_a^d, p_a^u と書く。 p_a^d, p_a^u の間で $E_i = A + \lambda_i \geq 0$ 。

によりバレート非効率性の問題が解消できるであろうか。これは我々にとって最も関心ある問題である。両国の戦略 $E = A + \lambda$ がこの曲線に定着できる安定的な汚染ストックは次のように求められる。

$\frac{dp^*(t)}{dt} = E_1^* + E_2^* - kp^*(t)$ をある安定な p^* のところで線形化して、

$$\frac{dp}{dt} = \left[2 \frac{dE}{dp} \Big|_{p^*} - k \right] (p - p^*)$$

$$\text{安定性条件は } 2 \frac{dE}{dp} \Big|_{p^*} - k < 0 \tag{4-19}$$

静止条件によって、 $2E - kp^* = 0$ 、つまり、

$$E = \frac{kp^*}{2}$$

この式を安定性条件に代入して、

$$\begin{aligned} 2 \frac{dE}{dp} \Big|_{p^*} &= \frac{sp^* + (k+r) \frac{kp^* - 2A}{2}}{2A - kp^* + \frac{3(kp^* - 2A)}{2}} \\ &= \frac{2sp^* + k(k+r)p^* - 2A(k+r)}{kp^* - 2A} < \frac{k}{2} \\ p^* > p_m^* &= \frac{2A(k+2r)}{k^2 + 2kr + 4s} \end{aligned}$$

この式により、線形戦略から得た汚染ストック p_{n1} と p_c の間のすべての安定な状態 p^* はこれらの非線形戦略により支持される。割引率が小さいとき (通常は割引率が小さい)、 p_m^* は協力戦略から得た汚染ストック p_c と同じである。この結果は多数の人々の関心を引き起こした。もしも、この p_m^* を支

持する戦略ペアが Nash 均衡であれば、さらに、パーフェクションであれば、パレート非効率性の問題を解消できる。Dockner, Long¹⁰⁾はこの p_{n1} と p_c の間のすべての p^* を支持する戦略ペアはパーフェクションであると結論づけた。これは重大な問題である。特に、 p_m^* を支持する戦略は Nash 均衡、あるいはパーフェクションであるならば、パレート非効率性の問題を解消するために国家間の対話を通じることで、この非効率の問題を解決できる。つまり、国家間の対話による非線形戦略を設けて、決着することができる。均衡であるから、一方の国にとっては違反のインセンティブがなく、この効率の結果が守られる。もしも、この p_m^* を支持する戦略ペアが Nash 均衡でなければ、この効率の結果を守るためには、協力戦略を維持するための条約を必要とするか、あるいは、制裁などの手段を使わなければならない。つまり、単なる対話を通じて、環境問題を解決することは不十分である。

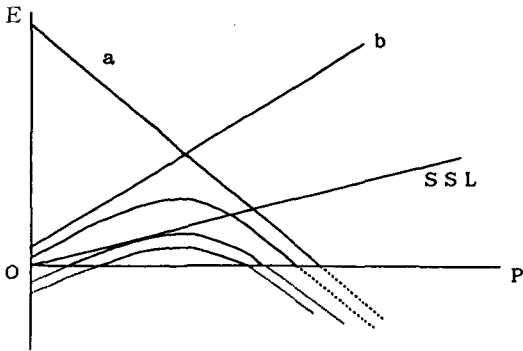


図 4-6 制約が戦略に影響

註：制約があるから、横軸以下の部分は意味がない。

② 戦略の制約

二つの国にとってどのような戦略を選択しても、放出は負値にならない。われわれはこの現実を無視できない。ここでこの制約は重要な役を演じる。すべての戦略は $E \geq 0$ の半平面で有意である。線形戦略を含めて、すべての戦略はこの問題に含まれている。微分方程式の解は p^d , p^u の区間の必要条件を定めた。この区間外ではどのような行動となるか、拡張された戦略は均衡になるのか検討する必要がある。

これらの戦略ペアはパーフェクションであるかどうかを見るために次の分析を行う。

[定義] ゲームの Markov パーフェクションはすべてのプレーヤー(国)の戦略が Markov 戦略を採用したパーフェクト均衡である。つまり、任意の p ($p \in P$) で、すべてのペア $(E_1, E_2) \in S_1 \times S_2$ にとっては、

$$J^1(E_1^*, E_2^*, p) \geq J^1(E_1, E_2^*, p)$$

$$J^2(E_1^*, E_2^*, p) \geq J^2(E_1^*, E_2, p)$$

が成り立つならば、ペア (E_1^*, E_2^*) は Markov パーフェクションである。

Basar, Olsder⁴⁾ および Mehlman²⁹⁾ により、 (E_1^*, E_2^*) パーフェクションであれば、値関数 V^i は Bellman-Hamilton 方程式を満たす。

$$\frac{\partial}{\partial t} V^i(E_1^*, E_2^*) = \max H^i(E_i, E_{-i}^*, p; dV^i/dp) \tag{4-20}$$

for all $p \in P$

一般的にこの偏微分方程式から値関数を求めるのは難しい。値関数が存在しないこともある。ここでは従前の分析結果を利用して分析する。

ここではまず $V(p)$ 関数を定義する。

$$V^i(p_0) = \int_0^{\infty} \left[A_i E_1^* - \frac{1}{2} E_1^{*2} - \frac{1}{2} s_i p^{*2} \right] e^{-rt} dt \tag{4-21}$$

$$\frac{dp^*(t)}{dt} = E^*1(t) + E^*2(t) - kp^*(t) \quad p_0 = p(t=0)$$

本論文の場合(安定戦略)は、

$$\begin{aligned} rV^i &= \max_{E_i} \mathcal{H}^i(E_i, E_{-i}^*, P; \frac{dV^i}{dp}) \\ &= \mathcal{H}^i(E_1^*, E_2^*, P; \frac{dV^i}{dp}) \end{aligned}$$

ここでは、

$$\begin{aligned} \mathcal{H}^i(E_i, E_{-i}^*, p; \lambda_i) &= A E_i - \frac{1}{2} E_i^2 - \frac{1}{2} s_i p + \lambda_i (E_i \\ &+ E_2 - kp) \\ E_1^* &= \arg \max_{E_i} \mathcal{H}^i(E_i, E_{-i}^*, p; dV^i/dp) = A \\ &+ \frac{dV^i}{dp} \end{aligned}$$

$$\text{制約 } A + \frac{dV^i}{dp} \geq 0$$

パーフェクションの必要条件はまず Nash 均衡である。最大化原理は Nash 均衡の必要条件を提供する。それにより、 $p \in (p^d, p^u)$ で微分方程式は解をもつ。つまり、

$$\lambda = \frac{dV^i}{dp}$$

ここでは、 $\lambda \geq -A$ のとき、 λ は微分方程式(4-13)

式の解である。つまり、もし、 $W(p)$ は値関数であれば、

$$\begin{aligned} rW^i &= \max_{E_i} \mathcal{H}^i(E_i, E_{-i}, p; dW/dp) \\ &= AE_i - \frac{1}{2}E_i^2 - \frac{1}{2}sp^2 + \frac{dW^i}{dp}(E_i + E_2 - kp) \\ &= \frac{1}{2}(A^2 - sp^2) + (2A - kp) \frac{dW^i}{dp} + \frac{1}{2} \left(\frac{dW^i}{dp} \right)^2 \\ &\quad + \frac{dW^i}{dp} \frac{dW^j}{dp} \end{aligned}$$

我々は

$$W^i(p) = \frac{1}{r} \left[\frac{1}{2}(A^2 - sp^2) + (2A - kp)\lambda + \frac{3}{2}\lambda^2 \right] \tag{4-22}$$

が値関数であると推測する。 $[p_0^d, p_0^u]$ で、 $E_i \leq 0$ であるから、この区間で λ は一意の解である。だから、値関数が存在すれば、 $[p^d, p^u]$ 区間で、(4-22) 式を満たさなければならない。 $[p^d, p^u]$ 区間で、(4-22) 式は値関数になれるかどうかは調べる必要がある。この区間で、

$E_i^* = \arg \max H^i(E_i, E_{-i}^*, \frac{dW^i}{dp}) = A + \frac{dW^i}{dp}$ だから、

$$\begin{aligned} rW^i &= H^i(E_i^*, E_{-i}^*, \frac{dW^i}{dp}) \\ &= AE_{i(t)}^* - \frac{1}{2}E_{i(t)}^{*2} - \frac{1}{2}sp_{i(t)}^{*2} + \frac{dW^i}{dp}[E_{i(t)}^* \\ &\quad + E_{i(t)}^* - kp_{i(t)}^*] \end{aligned}$$

もしも、時間 T 以内で状態 p は $[p_0^d, p_0^u]$ 区間にあるれば、

$$\begin{aligned} \int_0^T \left[AE_{i(t)}^* - \frac{1}{2}E_{i(t)}^{*2} - \frac{1}{2}sp_{i(t)}^{*2} \right] e^{-rt} dt \\ = W^i(p_0) - W^i(p_T) e^{-rT} \end{aligned}$$

になる。もしも、この区間に収束すれば、

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T \left[AE_{i(t)}^* - \frac{1}{2}E_{i(t)}^{*2} - \frac{1}{2}sp_{i(t)}^{*2} \right] e^{-rt} dt = W^i(p_0)$$

明らかに、区間 $[p_0^d, p_0^u]$ の中のすべての初期状態がこの区間で収束するわけではない。 $p_0 \in [p_0^d, p_0^u]$ 中の初期状態はその中で収束する。 $p_0 \in [p^d, p^0]$ の初期状態は $[p_0^d, p_0^u]$ の中で収束するのは保証できない。従って、(4-22) 式で表す関数が値関数になれるのは $[p^*, p^u]$ の区間だけで保証される。

状態空間 $P = [0, \infty)$ の場合は、初期状態は二つの区間において、値関数になれるか否かはまだ明らかになっていない。つまり、 $[0, p^0]$ と $[p, \infty)$ である。右の区間にとって、Hamiltonian 方程式を満たす値関数を探すのは簡単なことである。

$$W^E(p) = \begin{cases} V^E(p) & p \in [p_0^u, \infty) \\ W(p) & p \in [p_0^d, p_0^u] \end{cases} \tag{4-23}$$

$$E^E(p) = \begin{cases} 0 & p \in [p_0^u, \infty) \\ \hat{E}(p) & p \in [p_0^d, p_0^u] \end{cases}$$

ここでは

$$\begin{aligned} W^i(p) &= W(p^u) e^{-r\tau(p)} \\ &\quad - \frac{s}{2(r+2k)} [p^2 - p^{u2} e^{-r\tau(p)}] \end{aligned} \tag{4-23A}$$

$\tau(p)$ は $p(p > p^u)$ から p^u までの時間である。ここでは

$$\tau(p) = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{p}{p^u} \right) \tag{4-24}$$

$p > p^u$ のとき、 $E(p) = 0$ だから、状態は確実に p から p_0^u へ変化し、 p_0^u になると、非線形部分に入る。前の分析と同じように安定の p_0^u へ収束する。この利得は、

$$\begin{aligned} V^i(p) &= W(p^u) e^{-r\tau(p)} - \int_0^{\tau(p)} \frac{1}{2} sp_{i(t)}^2 e^{-rt} dt \\ \int_0^{\tau(p)} p_{i(t)}^2 e^{-rt} dt &= \left[-\frac{1}{r} e^{-rt} p_{i(t)}^2 \right]_0^{\tau(p)} + \int_0^{\tau(p)} \frac{2}{r} e^{-rt} p_{i(t)} \frac{dp}{dt} dt \\ &\quad + \left[-\frac{1}{r} e^{-rt} p_{i(t)}^2 \right]_0^{\tau(p)} - \int_0^{\tau(p)} \frac{2k}{r} e^{-rt} p_{i(t)}^2 dt \end{aligned}$$

そのなかで、 $\frac{dp}{dt} = -kp$ $p \geq p^u$

$$\begin{aligned} \text{だから、} \int_0^{\tau(p)} p_{i(t)}^2 e^{-rt} dt &= \frac{r}{2k+r} \left[-\frac{1}{r} e^{-rt} p_{i(t)}^2 \right]_0^{\tau(p)} \\ &= \frac{1}{2k+r} [p^2 - p^{u2} e^{-r\tau(p)}] \end{aligned}$$

しかし、このような拡張が値関数を満たすかどうかは不明である。Bellman 方程式を利用してチェックする。

$$H^i(E^*, p^*, \frac{dV^i}{dp}) = -\frac{1}{2} sp^2 + \frac{dV^i}{dp} (-kp)$$

$$\begin{aligned} \frac{dV^i}{dp} &= W(p^u) e^{-r\tau} \left(-r \frac{d\tau}{dp} \right) - \frac{s}{2(r+2k)} \left[2p + 2rp^{u2} e^{-r\tau} \frac{d\tau}{dp} \right] \\ &= -\frac{r}{kp} W(p^u) e^{-r\tau} - \frac{2sp}{2(r+2k)} - \frac{rs}{2(r+2k)kp} p^{u2} e^{-r\tau} \end{aligned}$$

ここでは $\frac{d\tau}{dp} = \frac{1}{kp}$

だから、

$$\begin{aligned} H^i &= -\frac{1}{2} sp^2 + rW(p_0^u) e^{-r\tau} + \\ &\quad - \frac{2sk}{2(r+2k)} p^2 + \frac{rs}{2(r+2k)} p_0^u e^{-r\tau} \\ &= rW(p_0^u) e^{-r\tau(p)} - \frac{rs}{2(r+2k)} [p^2 - p_0^u e^{-r\tau(p)}] \\ &= rV_{(p)}^i \end{aligned}$$

このように拡張ができる。

以上の拡張により、値関数は (p_a^*, ∞) で定義あり、かつ状態方程式により p_a^* へ収束する。

この拡張の役割は q 曲線がパーフェクションであるかどうかは (p_a^*, ∞) でチェックしなくても良い。もし、状態空間 $P \subseteq (p_a^*, \infty)$ ならば、 q 曲線による戦略ペアはパーフェクションである。 $P = [0, \infty)$ の状態空間であれば、 q 曲線はパーフェクションであるかどうかは $[0, p_a^*]$ 区間により決められる。 (p_a^*, p_a^*) 区間の曲線はこの解により定められたからである。線形戦略にとっては $p^d = -\infty$ である。ここで第3章で線形戦略ペアがパーフェクト均衡であると説明しなかったことを証明した。しかし、非線形戦略にとっては $p^d > 0$ から、任意の初期状態 $p_0 > 0$ において、 $(0, \infty)$ の中のすべての状態 p が到着できるのは有り得ることである。したがって、状態空間は $(0, \infty) \subseteq P$ である。したがって、パーフェクションは保証されない。ここまでの、パーフェクションは保証されないが、パーフェクションではないと否定されることもまだ証明されていない。これは次の仕事である。

③ パレート効率とパーフェクション

[命題] 初期状態 $p_0 \in [p_m^d, p_m^*)$ 、このゲーム $G(p_0)$ で p_m^* を支持する戦略ペアは Nash 均衡にならない。

証明： m 曲線に置いては $p_0 \in [p_m^d, p_m^*)$ の任意の p_0 が初期状態であるとして、プレイヤー（国）が m 曲線の戦略を実行すれば、状態が point $(P_m^d, 0)$ に到着できるのは事実である。 $E > 0$ の制約があるから、解の領域は微分方程式による定めた区間 (p_m^d, p_m^*) だけである。 p_m^d 状態に到着した後、任意の行動（単値条件と連続性を満たす）を採用しても安定状態 p_s は必ず $p_s \in [0, p_0^d)$ を満たす。そのとき、プレイヤー i の利得は

$$V^i(p_0) = \int_0^{T_d} \left[A_i E_i - \frac{1}{2} E_i^2 - \frac{1}{2} s_i p^2 \right] e^{-rt} dt + \int_{T_d}^{T_s} \left[A_i E_i - \frac{1}{2} E_i^2 - \frac{1}{2} s_i p^2 \right] e^{-rt} dt + \int_{T_s}^{\infty} \left[A_i E_i - \frac{1}{2} E_i^2 - \frac{1}{2} s_i p^2 \right] e^{-rt} dt \quad (4-26)$$

ここでは、 $\frac{dp(t)}{dt} = E_1(t) + E_2(t) - kp(t)$

$$p(t=0) = p_0, \quad p_m^d \in [p_0, p_m^*)$$

ここでは、 T_d が p_m^d 状態に到達する最初の時間で、 T_s が安定状態 p_s に到達する時間である。 T_d は有限であるのは明確であるが、 T_s が有限であるか否

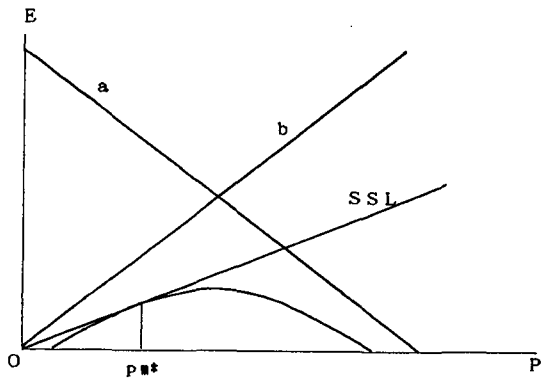


図4-7 いわゆるパレート効率になる戦略

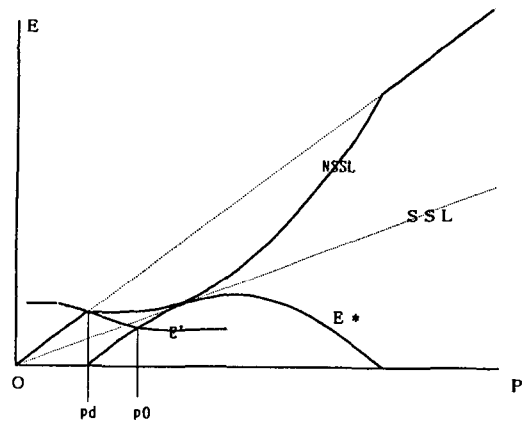


図4-8 制約条件を満たす違反戦略

註：制約条件を満たす違反戦略はもっと高い利得が得られる。

かは、 $E(p), p \in [0, p_m^d)$ に依存している。

もし、プレイヤー i が戦略を違反して、初期状態 p_0 から p^d に定着すれば、どうなるか。プレイヤー j はこの時、予定戦略を実行しているから、プレイヤー i は違反戦略 $E'(p)$ で安定的な $p^d (< p_0)$ を維持できる。安定状態を維持できるということを証明するために、まず、この戦略を構築しなければならない。

$$\frac{dp}{dt} = E_{k(p)} + E_{(p)}^* - kp$$

安定状態は $NSSL(p) = kp - E^*(p)$

プレイヤー j が $E(p)$ を実行する（違反しない）限りにおいて、プレイヤー i （違反者）がこの曲線の上方で汚染を放出すれば、汚染状態は増加（悪化）する。

逆の場合は、汚染状態は減少（改善）される。この曲線上で汚染放出すれば、静止状態になる。安定した p^d となる違反戦略は、

$$E'(p) = \begin{cases} >NSSL & p < p_0 \\ =NSSL & p = p_0 \\ <NSSL & p > p_0 \end{cases} \quad (4-27)$$

かつ、 $E^*(p_0) = E'(p_0)$

違反戦略により得た利得は、

$$J^i(E', E^*, p_0) = \int_0^T \left[A_i E_i - \frac{1}{2} E_i^2 - \frac{1}{2} s_i p^2 \right] e^{-rt} dt + \int_T^\infty \left[A_i E_i - \frac{1}{2} E_i^2 - \frac{1}{2} s_i p^2 \right] e^{-rt} dt \quad (4-28)$$

この利得が違反しない戦略の利得 $V(p_0)$ より大きいとすれば、予定戦略（違反しない戦略）は Nash 均衡ではない。ここでは T' は違反戦略により成り立つ状態 p_m^d へ到着するのにかかる時間である。

次に T について以下のケースに分ける。ケース I は T' と T_s ともに無限である。ケース II は T' が有限で、 T_s は無限である。ケース III は T_s が有限で、 T' は無限である。ケース IV は T' と T_s ともに有限である。ここでは、 T' と T_d の二つともが無限であるケース I を証明する。他のケースはこのケース I の特例と考えられる。

予定戦略で、状態は p_s へ収束するから、有限な時間内 T_s^* で、

$$|p_{(t)} - p_s| < \delta_s \quad \delta_s > 0 \text{ for } t \geq T_s^*$$

違反戦略を採用すれば、状態は p_d へ収束するから、有限な時間内で、

$$|p_{(t)} - p_d| < \delta_d \quad \delta_d > 0 \text{ for } t \geq T_s'$$

$T = \max[T_s^*, T_s']$ と設定して、

$$V^i(p_0) = \int_0^{T_s^*} \left[A_i E_i - \frac{1}{2} E_i^2 - \frac{1}{2} s_i p^2 \right] e^{-rt} dt + \int_{T_s^*}^{T_s'} \left[A_i E_i - \frac{1}{2} E_i^2 - \frac{1}{2} s_i p^2 \right] e^{-rt} dt + \int_{T_s'}^T \left[A_i E_i - \frac{1}{2} E_i^2 - \frac{1}{2} s_i p^2 \right] e^{-rt} dt + \int_T^\infty \left[A_i E_i - \frac{1}{2} E_i^2 - \frac{1}{2} s_i p^2 \right] e^{-rt} dt$$

$$J^i(p_0) = \int_0^{T_s^*} \left[A_i E_i - \frac{1}{2} E_i^2 - \frac{1}{2} s_i p^2 \right] e^{-rt} dt + \int_{T_s^*}^T \left[A_i E_i - \frac{1}{2} E_i^2 - \frac{1}{2} s_i p^2 \right] e^{-rt} dt + \int_T^\infty \left[A_i E_i - \frac{1}{2} E_i^2 - \frac{1}{2} s_i p^2 \right] e^{-rt} dt$$

違反しない戦略で安定状態と放出は SSL にあるから、

$$E^*(p_s) = \frac{k}{2} p_s$$

$$U(p) = \frac{kA}{2} p - \frac{1}{2} \left(\frac{kp}{2} \right)^2 - \frac{s}{2} p^2 \text{ と設定する。}$$

$$p^m = \frac{2kA}{k^2 + 4s} \text{ で } U \text{ が最大値となる。}$$

$p_s < p_d < p^m$ かつ $U(p)$ は p について concave であるから、

$$U(p_s) < U(p_d)$$

$$U(p_s) = \frac{kA}{2} p_s - \frac{1}{2} \left(\frac{kp_s}{2} \right)^2 - \frac{s}{2} p_s^2 \quad (4-29)$$

$U(p_s)$ の値は違反しない戦略により成り立つ安定状態 p_s でのカレント瞬間利得である。 $t \geq T$ の時、違反しない戦略によって、

$$|p_{(t)} - p_s| < \delta, \quad |E_{(t)} - E_{(ps)}| < M |p_{(t)} - p_s|$$

t 時刻のカレント利得は、

$$U^*(t) = A E_{(t)}^* - \frac{1}{2} E_{(t)}^{*2} - \frac{1}{2} s p_{(t)}^{*2}$$

$$\leq A(E^*(p_s)_t + M\delta) - \frac{1}{2}(E^*(p_s)_t + M\delta)^2 - \frac{1}{2}s$$

$$(p_s - \delta)^2$$

$$= U(p_s) + \Delta$$

ここでは、

$$\Delta = AM\delta - E(p_s)_t M\delta - \frac{1}{2} M^2 \delta^2 + s P_s \delta - \frac{1}{2} s \delta^2$$

もし $\Delta < \varepsilon$ つまり、

$$AM\delta - E(p_s)_t M\delta + s p_s \delta < \varepsilon$$

$$\delta < \frac{\varepsilon}{M(A - E(p_s)_t) + s p_s}$$

$$E(p_s) < A, \quad p_s > 0, \quad s > 0$$

だから、任意の $\varepsilon > 0$ にとつては δ 存在する。

国 i が違反戦略を選ぶならば、安定状態と放出は NSSL にあるので、安定状態 p^d でのカレント瞬間利得は、

$$U'(p) = A E'_{(pd)} - \frac{1}{2} E'_{(pd)}{}^2 - \frac{1}{2} s p_d^2 \quad (30)$$

$$= kA p_d - \frac{1}{2} (k p_d)^2 - \frac{1}{2} s p_d^2 > U(p_d)$$

$t \geq T$ の時、違反戦略によって、

$$|p_{(t)} - p_s| < \delta, \quad |E_{(t)} - E_{(pd)}| < M |p_{(t)} - p_d|$$

$$U'(t) = A E_{(t)}' - \frac{1}{2} E_{(t)}'^2 - \frac{1}{2} s p_{(t)}'^2$$

$$\geq A(E'(p_d) - M\delta) - \frac{1}{2}(E'(p_d) - M\delta)^2 - \frac{1}{2}s(p_d + \delta)^2$$

$$= U'(p_d) - \Delta'$$

ここでは、

$$\Delta = AM\delta - E(p_a)M\delta + \frac{1}{2}M^2\delta^2 + sp_a\delta + \frac{1}{2}s\delta^2$$

$\Delta' < \epsilon'$ にとって、このような δ がいつも存在している。

$U(p_s) < U(p_a) < U'(p_a)$ によって、

$$U(p_s) + \epsilon < U(p_s), \quad U(p_a) + \epsilon' < U'(p_a),$$

を成立させる ϵ, ϵ' が存在する。だから、 $t \geq T$ の時、

$$U'(p'(t)) > U(p(t)) \quad U'(p'(t)) - U(p(t)) > \epsilon$$

$$J^i(E'_i, p_0) - V^i(p_0) = F' - F + \int_T^\infty [U'(p'(t)) -$$

$$U(p(t))]e^{-rt} dt > F' - F + \frac{1}{r}\epsilon_0 e^{-rT}$$

十分に小さい r にとって、

$$J^i(E'_i, E_j^*, p_0) > V^i(E_j^*, E_j^*, p_0)$$

証明終了。

[命題] 任意の初期条件 p'_0 にとっては p^* を支持する戦略ペアはパーフェクションにならない。

証明：任意の p'_0 から、状態 p_0 に到達が可能である。つまり、 $G(p_0)$ は $G(p'_0)$ のサブゲームである。

証明終了。

4. 小 括

われわれのモデルでは、パレート非効率の問題は自主的な行動によってどうしても解消できない。つまり国家間の対話のみによって地球環境問題を解決できない。国際法は地球環境問題の解決にとっては不可欠である。もちろん、本論文は国家間の対話の役割に対して否定的な立場をとるものではない。国家間の対話は国家間の信頼を増やし、これに基づいて国際間の協定締結を進める役割がある。

われわれのモデルの中では、モデルを抽象化することによって国際貿易は省略されている。制裁手段として貿易を使わない限り、貿易の環境政策に対する影響は負である。例えば、国が国際競争力を考慮するとき、自国の環境基準が厳しければ厳しいほど、自国の財の競争力を失ってしまう。本章は長期的な戦略でもフリーライダーのような行動が避けられないことを論じてきた。貿易など国際取引を省略しても本章の結論の本質は損なわれない。本章は国の放出行動は時間に関して連続であり、下限はゼロであるとしている。もし、非連続な行動が国の選択肢になれば、パレート非効率の問題は解消できるかもしれない。あるいは二酸化炭素の放出が負値になることが可能であれば、パレート非行率の問題は解

消できるかもしれない。しかし、いずれの前提も非現実的である。

本章は自主規制（フリーライダーの解消）の可能性に関する研究である。つまり、国際環境問題を解消するため、国際条約が不可欠であることを論証する研究である。国際条約をどのように締結するかは、本論文のテーマではない。国際環境問題の解決に向けて国際条約を締結することは簡単ではない問題である。しかし、この厄介な問題は避けて通ることはできない。これは、本章のインプリケーションである。

註

(註1) Nash 均衡の概念は第3章の(註2)を参考。

(註2) パーフェクションあるいはパーフェクト均衡を「信頼できる均衡」と理解してよい。この概念は Selton⁽⁴⁾により提出された。ここでは簡単な例で説明する。例えば、環境を大切にす隣接するA、Bという二つの国を仮定するとしよう。B国がA国からお金を欲しいめに、「もしお金をくれないければ、我が国は大気を汚染する」という脅迫でA国にお金を要求する。このゲームの中で、A国の戦略は以下の二つ可能な戦略である（戦略空間）。

a 1. お金をBに渡す

a 2. お金をBに渡さない

B国にとって、可能な戦略は以下の四つの戦略である。

b 1. A国がお金を出せば、大気を汚染しない；
お金を出さなければ、大気を汚染しない。

b 2. A国がお金を出せば、大気を汚染しない；
お金を出さなければ、大気を汚染する。

b 1. A国がお金を出せば、大気を汚染する；
お金を出さなければ、大気を汚染しない。

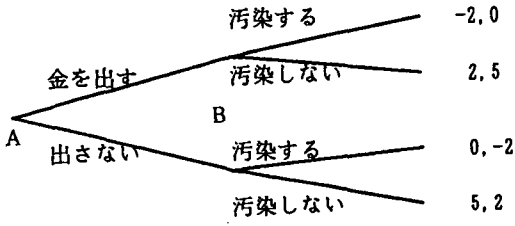
b 1. A国がお金を出せば、大気を汚染する；
お金を出さなければ、大気を汚染する。

ゲームは以下のようなものである。註図4-1は展開型で、註図4-2は戦略型である。

このゲームでは、(a 1, b 2)は均衡である。つまり、A国は金を出す、B国は汚染しないという結果である。A国が金を出さなければ、B国は大気を汚染する、これはA国にとっては望ましくない。B国にとって大気が汚染されるのは望ましくない。だから、(a 1, b 2)は均衡である。しかし、この均衡はパーフェクションではない。なぜならば、A国が本当に金を出さなければ、B国にとって大気を汚染するより汚染しないほうが望ま

しいからである。B国はお金をもらえない状況で、自分が宣言していた戦略b2をそのまま実行するつもりはない。つまり、戦略b2は信用できない、均衡(a1, b2)は信頼できない。

このゲームの中では、もう一つの均衡結果がある。つまり、A国が金を出さない、B国が大気を汚染しないという結果である。この結果を支持する均衡はパーフェクションである。つまり、(a2, b1)である。



註図4-1 ゲームの展開型

	b1	b2	b3	b4
a1	2, 5	2, 5	-2, 0	-2, 0
a2	5, 2	0, -2	5, 2	0, -2

註図4-2 ゲームの戦略型

(註3) 長期的なゲームの中で、過去の決定は現在あるいは将来の意思決定に影響を与えられとされる。もし、過去の決定は現在あるいは将来の決定に直接ではなく、ある状態に通じて影響を与えるならば、このようなゲームはMarkovゲームと呼ぶ。Markovゲームにおいてパーフェクト均衡はMarkov-perfect均衡と呼ぶ。文献4, 15を参考のこと。

(註4) 再交渉立証 (Renegotiation-Proofness) は均衡Refinementの基準としてBernheim, PelegとWinstonたちによってはじめて提出された。この基準はCoalitionの概念に基づいて定義され、Coalition-Proof均衡とも呼ばれる。多数のプレイヤーのゲームの中の均衡はCoalition-proof均衡にみたすならば、この均衡はすべてのCoalitionによって構成されたゲームの中で均衡とも言える。文献6,15)を参考のこと。

(註5) 本論文では、すべて他のプレイヤーの戦略が一定するとき、自分が利用できる情報に基づき、自分にとって最も大きい利得を得られる戦略は、非

協力戦略と呼ぶ。自分の利得の目的ではなく、Coalitionの利得の最大化の目的としての戦略は協力戦略と呼ぶ。これは厳密な定義ではない。

(註6) この単一財は複数の集計と考えられる。複数財について選好は支出関数により現す。ここでは、価格は定数と設定する。

(註7) 国の効用関数は放物線の形の理由は第3章で既に述べたが、第3章の図3-2を参考にして下さい。

(註8) 自然浄化能力は海や森林などが二酸化炭素に対する吸収能力の和である。文献49)の詳しい説明を参考にして下さい。なお、本論文は森林を伐採することによって自然が二酸化炭素の浄化率の変化について考慮していない。

(註9) このようなゲームは微分ゲームである。最初の研究は文献46)、環境問題に関する研究は文献23),27)など。

(註10) 協力結果はすべてのプレイヤーが協力戦略をプレーすることによって得られた結果であり、各プレイヤーの戦略および利得である。非協力結果は非協力戦略に対応している各プレイヤーの戦略および利得である。

第5章 結 論

本章の目的は、まず、国際貿易と資本流動など国際間の経済活動により、国の環境政策に与える影響を分析し、次に地球環境問題に関する国際合意の可能性を述べることである。

1. 国際貿易と環境政策の関係

第4章で、われわれは自給自足の下にある二国間の長期ゲームでも、対話のみによっては環境問題が解決できないことを論証した。つまり国際条約は不可欠であることを論じた。世界が一つの国家の場合は、世界政府は、企業側の汚染について限界収益が汚染の社会限界費用に等しいという基準によってパレート非効率の問題を解決することができた。つまり、環境問題が経済学的に解消できることを示した。世界政府が存在しない場合は、環境基準は各国によって制定され、実行される。国が最適な基準を設定するのは、自国の企業の汚染放出についての限界収益が自国の社会限界費用に等しいという原理にしたがう。明らかに、他国への限界費用は自国の社会限界費用に含まれていない。従って、各国にとっての最適環境基準が必ずしも世界全体にとって最適という保証はない。各国の行動によって、地球環境

汚染程度は地球規模の最適な汚染程度を上回る。これは国際環境問題が発生する一つの原因である。

世界が複数国家で成立する場合、意思決定機関が多数になるだけでなく、さらに国際貿易、国際間の資本流動などの経済活動が要素として加わってくる。国際経済問題の中で、貿易などの経済活動を抜いては本質的な結果を得られない。貿易が国の環境基準の設定にどんな影響を与えるか、これは本章のテーマの一つである。第四章で得られた貿易が存在しない時の結論の信頼性が、貿易が行われることによってどのように変化したのかを検証した。

本章の分析では、貿易があってもこの貿易手段で相手を制裁しないことを前提としている。つまり、自由貿易を前提としている。この前提は、制裁がゲーム理論の再交渉基準を満たさないことを意味している。

国が環境基準を設定する時、環境基準の設定によって自国の製品のコスト、つまり国際市場での競争力への影響を考えなければならない。ここでは、部分均衡の分析手法で、環境基準の設定による自国の貿易収支に関する影響を簡単に調べる。二つの国の間に自由貿易を設定する。国際間で取り引きされる財を生産するとともに、汚染物質が放出される。二つの国、A国、B国においてこの財に関する需要は右下がり、供給は右上がりと仮定する。本質を失うことなく、環境基準が改正される前を初期状態として、A国は財の輸出国で、B国は輸入国であると仮定する。この財の国際価格P*は国際的総需要と総供給の均等によって決まる。総需要はA、B両国の需要の合計である。総供給はA、B両国の供給の合計である。

もし、輸入国Bの環境基準（汚染放出量）が変わらず、A国が環境基準を引き上げよう（汚染放出に関する税率を引き上げる等）とする時、A国の供給曲線は上方へシフトする。これは同じ価格の下で供給量が減ることである。新しい総供給曲線に基づいて新しい国際価格はP*になる。この新しい国際価格は以前の国際価格p*より高い。A国の輸出は減り、B国の輸入は減る。このとき、価格は上昇するが、輸出国の輸出額が減少するか、それとも増加するか、以下の分析によって明らかにする。

A国、B国のそれぞれの供給は以下のように表される。

$$S^i(p, e^i) \quad i=A, B$$

ここでは、 e^i がそれぞれの環境基準のパラメータである。eが大きければ大きいほど、環境質基準が厳しくなる。

$$D^i(p) \quad i=A, B,$$

は取り引きされた財の需要である。

供給関数に関して、以下の仮定をする。

$$\frac{\partial S^i(p, e^i)}{\partial e^i} < 0$$

これは国が環境基準を厳しくすれば、企業は汚染物質の放出を減らすためにコストを生産費に転嫁しなければならないことを意味する。

総供給と総需要のバランスの条件は、

$$S^A(p, e^A) + S^B(p, e^B) - D^A(p) - D^B(p) = 0, \tag{5-1}$$

となる。

ここではB国の環境基準を一定としたまま、A国が環境基準を上げる時に、貿易にどのような影響があるのかを分析する。

需供バランス条件の(5-1)式を全微分する。

$$\frac{\partial S^A(p, e^A)}{\partial e^A} de^A + \frac{\partial S^A(p, e^A)}{\partial p} dp + \frac{\partial S^B(p, e^B)}{\partial p} dp - \frac{dD^A(p)}{dp} dp - \frac{dD^B(p)}{dp} dp = 0$$

$$\frac{dp}{de^A} = \frac{\partial S^A(p, e^A)}{\partial e^A} / \left[\frac{dD^A}{dp} + \frac{dD^B}{dp} - \frac{\partial S^A}{\partial p} - \frac{\partial S^B}{\partial p} \right] \tag{5-1A}$$

ここでは $\frac{dD^A}{dp} < 0$, $\frac{dD^B}{dp} < 0$, $\frac{\partial S^A}{\partial p} > 0$, $\frac{\partial S^B}{\partial p} > 0$

さらに $\frac{\partial S^A(p, e^A)}{\partial e^A} < 0$ によって $\frac{dp}{de^A} > 0$

つまり、A国の環境基準が厳しくなると国際価格は高くなることを示している。

A国にとってこの財からの貿易収入は $R^A = p(D^B - S^B)$ である。ここでは $D^B - S^B$ はB国の超過需要であり、A国からの輸入量である。

A国の環境政策は自国の貿易収入にどんな影響を与えるか、この収入式を微分する。

$$\frac{dR^A}{de^A} = p \frac{d(D^B - S^B)}{dp} \frac{dp}{de^A} + (D^B - S^B) \frac{dp}{de^A}$$

$$= \left[p \frac{d}{dp} (D^B - S^B) + (D^B - S^B) \right] \frac{dp}{de^A} \tag{5-2}$$

B国は輸入国、輸出国、いずれも、

$$p \frac{d}{dp} (D^B - S^B) < 0$$

もし、B国が輸入国であれば、つまり、 $D^B - S^B > 0$ となる。この場合は、A国が環境基準をあげることによって、自国の貿易収入が減少するか、それと

も増加するかは、以下の式によって決められる。

$$\left| \frac{pd(D^B - S^B)}{(D^B - S^B)dp} \right| \geq 1 \quad (5-3)$$

つまり、この財の超過需要の価格についての弾力性が1より小さい時（非弾力的）、A国が環境基準を厳しくすることによって貿易収入は増大する。しかし、弾力的な財ならば、A国の環境基準を厳しくすることによって、貿易からの収入は減少する。

A国がもしこの財について輸入国であれば、つまり、 $D^B - S^B < 0$ の場合、A国が環境基準を厳しくすることによって、必ず自国の貿易収入は減少する（貿易赤字が増加する）。

以上は二カ国の場合である。もし多数の国の場合、A国のこの財に関する国際生産シェアが相対的に大きくない場合は、A国にとって、超過需要の価格弾力性は小さい。従って、A国の環境政策を変更することによって、国際価格の変化は小さい。自国の環境政策が厳しくなることで自国の超過供給が減少する。この場合は、A国が輸入国であっても、輸出国であっても、自国の貿易収入は減る。この単純な分析によって、現実の世界経済では、貿易があることによって、環境保全の政策を取るとはさらに難しくなるということが明らかになった。

2. 国際間資本流動が国の環境基準の設定に与える影響

もし一カ国だけが存在する場合、国の資本は国外へ流出できない。しかし、多国の場合は事情が違い、他の国の環境政策が変化しないで、自国が環境基準を厳しくしたならば、自国の資本は外国へ流出する恐れがある。この理由で、資本移動ができる場合の最適環境基準は、資本流動できない場合の最適環境基準より悪くなると想定できる。この理由によって環境質はさらに悪化する。

我々は単純なモデルでこの現象を説明しよう。ここでは国の間で資本は自由に流動でき、労働力が流動できないと仮定する。単純化するために、他の国は環境税が一定のまま、A国は自国領内で環境税を引き上げるとする。ここでは一つの財（複合財と考えてもよろしい）と仮定する。この財を生産するとともに汚染物質が放出される。この汚染物質の放出は他の投入要素と代替可能である。

$$Q = F(K, L, S) \quad (5-4)$$

FはK, L, Sについて規模の経済性が一定であ

る。ここでは、Kはこの国での資本である。Lはこの国の総労働力である。Sは汚染物質の放出量である。

$$k = \frac{K}{L}, \quad s = \frac{S}{L} \text{ を設定する。そうすれば、}$$

$$Q = Lf(k, s) \quad (5-4 A)$$

よく知られる以下の性質がある。

$$f_k > 0, f_s > 0; f_{kk} < 0, f_{ss} < 0, f_{ks} > 0$$

(5-4) 式を微分して、

$$F_L = f(k, s) - kf_k - sf_s$$

利潤最大化を求める企業にとって、以下の式が成立する。

$$w = f - kf_k - st \quad (5-5)$$

ここでは、wは賃金率である。tは汚染放出に課せられた税率である。賃金はこの国の住民に直接渡され、税金はこの国の政府を通じて、最後にこの国の住民に帰着される。

$w + st = v$ と設定して、(5-5) 式は、

$$v = f - kf_k, \quad (5-6)$$

になる。

A国にとっては、集計的な効用関数は $U = U(v, s)$ である。

我々が求めたいのは、この国が税金でこの国の汚染物質の放出（環境基準）を調整する時、この国の総収入にどのような影響を与えるかである。

(5-6) 式をsについて全微分する。

$$\begin{aligned} \frac{dv}{ds} &= (f_k - kf_{kk} - f_k) \frac{dk}{ds} + f_s - kf_{ks} \\ &= f_s - kp_{ks} - kf_{kk} \frac{dk}{ds} \end{aligned} \quad (5-7)$$

資本が流動できない場合は、 $\frac{dk}{ds} = 0$ 、だから、

$$\frac{dv^*}{ds} = f_s - kf_{ks}$$

資本が流動できる場合、資本に関する収益率は各国間で同じである。

$f_k = r$ （ここではrが定数である）。

この場合は、 $d(f_k - r) = f_{kk}dk + f_{ks}ds = 0$ 、つまり、

$$\frac{dk}{ds} = -\frac{f_{ks}}{f_{kk}}$$

この式を(5-7)式に代入して、

$$\frac{dv}{ds} = f_s - kf_{ks} + kf_{kk} \frac{f_{ks}}{f_{kk}} = f_s$$

$f_{ks} > 0$ によって、

$$\frac{dv}{ds} > \frac{dv^*}{ds} \quad (5-8)$$

資本流動できる場合、A国が汚染物質放出量を一単位増加すること(環境基準が下がるという意味)によって、国の所得の上昇率 $\left(\frac{dv}{ds}\right)$ は資本流動できない場合の上昇率 $\left(\frac{dv^*}{ds}\right)$ より大きい。言い替れば、A国が汚染物質の放出量を一単位減少する(環境基準が厳しくなること)ことによって、国の所得の減少分は資本流動のできる場合の方が資本流動できない場合より大きい。資本流動ができる場合は環境基準を緩和する傾向がある。このモデルでは、他の国からの汚染や自国から他の国への汚染は考えていない。もし、この国の外部性の問題を考慮するならば、環境基準はさらに下がる。

本論文で第四章までの分析はすべて貿易がないという前提の下で行われていた。貿易がない場合、各国が自国にとって最適な環境政策を取っても、その国の汚染物質の放出量は、世界の最適基準の場合にその国が排出した放出量を上回る。さらに、国際貿易が行われている時、その国は貿易収入、資本の流出などを考慮しなければならないから、その国の最適基準はさらに緩和される(放出量が多くなる)。この場合は、地球環境問題はさらに悪化する。本論文で今まで述べてきた結論、つまり、条約がなければ地球環境問題は解決できないという結論は、国際貿易が行われる場合も成立する。

3. 他の国の環境基準の影響

国際間で、貿易が環境基準の設定に与える影響は前節で考察した。国際間の場合は、国と国の間の環境基準の相互影響がある。単純化するため、ここでは二カ国を考える。もしa国が環境基準をあげる時に、b国が環境基準をそのままにすれば、a国の行動によって、a国の環境質が改善されるのはもちろん、国際環境質を改善できる。しかし、a国が環境基準を厳しくすることによってb国の環境質は変わることになる。b国にとってこの新しい環境質の中では、以前の環境基準はもはや最適ではない。これによって、b国は新しい環境基準に変更するが、a国の環境基準の改正に対してb国はどのように反応するか、これが本節の問題である。

$$B^i(E_i) \quad i=a, b,$$

はi国の放出による私的利益である。

$C^i(E_A + E_B) \quad i=a, b$ はi国の社会コストである。

$$\text{以前の仮説によって, } B'_i < 0, C'_i > 0, C''_i < 0 \quad (5-9)$$

実際の放出量Eが最適の放出量E*より小さい時、つまり $E < E^*$ の時、

$$B'_i > 0 \quad (5-9A)$$

$$E = E^* \text{ のとき, } B'_i = 0 \quad (5-9B)$$

$$E > E^* \text{ のとき, } B'_i < 0 \quad (5-9C)$$

もし、政府が汚染物の放出を減らす場合、その放出量の減少分を $-\Delta E_i = X_i$ と定義する。明らかに、i国の私的利益は減少する。社会的なコストも減少する。ここでは政府が何もしない時の放出量をE*と仮定して、

$$B_i(E_i) = B_i(E_i^* + \Delta E_i)$$

$$= B_i(E_i^* - X) = B_i(E_i^*) - S_i(X_i)$$

$S_i(x_i)$ は放出の減少によって生じる私的な減少分である。つまり X_i を減少するために、i国がかかった私的なコストである。

$$C_i(E_a + E_b) = C_i(E_a^* - X_a + E_b^* - X_b)$$

$$= C_i(E_a^* + E_b^*) - U_i(X_a + X_b)$$

$U_i(X_a + X_b)$ は放出の減少分 $X_a + X_b$ によるi国の社会的なコストの減少分である。つまり、 $X_a + X_b$ を減少することによって、社会的な利益の増加となる部分である。

(5-9)式によって、以下のいくつかの式が得られる。

$$S'_i = -\frac{\partial B_i}{\partial X_i} = B'_i > 0 \quad S''_i = \frac{\partial B'_i}{\partial X_i} = -B''_i > 0$$

$$U'_i = -\frac{\partial C_i}{\partial X_i} = C'_i > 0 \quad U''_i = \frac{\partial C'_i}{\partial X_i} = -C''_i < 0 \quad (5-10)$$

われわれはまずNash均衡を考察する。各国は自国の利益の最大化によって、

$$S'_i(X_i) = U'_i(X_a + X_b)$$

汚染物質除去の私的限界費用と限界社会利益とを等しくする。a国にとって、最適な除去量は $r_a(X_b)$ で表す。 $r_a(X_b)$ はa国の反応関数と呼ぶ。a国の最大の純利益は、

$$W_a(X_b) = \max_{X_a} [U_a(X_a + X_b) - S_a(X_a)]$$

$$= U_a(r_a(X_b) + X_b) - S_a(r_a(X_b)) = V_a(r_a(X_b), X_b) \quad (5-11)$$

包絡線定理を利用して、(5-11)式の左辺のWをXについて全微分する。

$$\frac{dW_a}{dX_b} = \frac{\partial}{\partial X_b} [U_a(X_a + X_b) - S_a(X_a)] \Big|_{X_a=r_a(X_b)} = \frac{\partial U_a}{\partial X_b} = U'_a \quad (5-12)$$

(5-11)式の右辺のVについて全微分(包絡線定理

を利用せず)すれば,

$$\frac{dV_a}{dX_b} = \frac{\partial V_a}{\partial X_a} \frac{dr_a}{dX_b} + \frac{\partial V_a}{\partial X_b} = (U'_a - S'_a) \frac{dr_a}{dX_b} + U'_a \tag{5-13}$$

(5-12) 式をさらに微分して,

$$\frac{d^2 W_a}{dX_b^2} = \frac{\partial^2 U_a}{\partial X_a \partial X_b} \frac{dr_a}{dX_b} + \frac{\partial^2 U_a}{\partial X_b^2} = U''_a \frac{dr_a}{dX_b} + U''_a$$

(5-13) 式をさらに微分して,

$$\begin{aligned} \frac{d^2 V_a}{dX_b^2} &= (U''_a - S''_a) \frac{dr_a}{dX_b} \frac{dr_a}{dX_b} + (U'_a - S'_a) \frac{d^2 r_a}{dX_b^2} \\ &+ U''_a \frac{dr_a}{dX_b} \frac{dr_a}{dX_b} + U''_a \frac{dr_a}{dX_b} \frac{dr_a}{dX_b} + U_a \end{aligned}$$

$$\left. \frac{d^2 W_a}{dX_b^2} = \frac{d^2 V_a}{dX_b^2} \right|_{X_a=r(X_b)}$$

さらに, $r_a(X_b)$ の定義によって, $U'_a = S'_a$ だから, $\frac{dr_a}{dX_b} = \frac{U''_a}{S'_a - U''_a}$ になる。

同様に, $\frac{dr_b}{dX_a} = \frac{U''_b}{S'_b - U''_b}$

(5-10) 式によって,

$$\frac{dr_a}{dX_a} < 0 \quad \frac{dr_a}{dX_b} < 0 \quad \left| \frac{dr_b}{dX_a} \right| < 1 \quad \left| \frac{dr_a}{dX_b} \right| < 1$$

この二つの反応曲線の交差点 N は Nash 均衡と対応している。このとき, 両国の放出量は別々に X_a^* と X_b^* である。この点は安定的な点である。

われわれが知りたいことは, もし a 国が何かの原因で (環境の意識が高まり, a 国の効用関数, コスト関数などが変化する場合), a 国の反応関数が右へシフトすれば, a 国は更に多くの汚染放出を減らす。しかし, この時, a 国の行動によって, b 国の最適放出は増加することになる。

4. 地球環境問題に関する国際合意の可能性

今までは, 地球環境問題を解決するために, 国際条約(合意)が不可欠であるという本論文の中心テーマを分析してきた。国際条約が成立できるかどうかは分析していない。しかし, 地球環境問題に関する国際条約が成立できなければ, 本論文の有効性は若干低下することとなる。ここでは少し条約成立の可能性をみとめる。強調したいことは, 本論文のテーマはあくまでも地球環境問題を解決するために国際合意(条約)が不可欠であるということである。条約成立の可能性に関する以下の分析は, 厳密ではない。

まず, 結論を述べる。地球温暖化に関する国際条約の成立は可能である。主な根拠はオゾン層破壊を防止するための国際条約が既に成立されている。つ

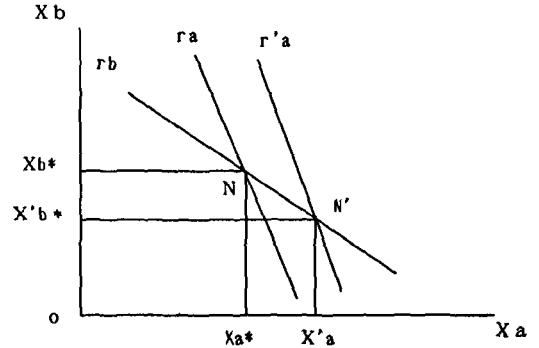


図5-1 反応関数

まり, オゾン層に関する二つの国際条約があり, 1985年の「オゾン層の保護のためのウィーン条約」と1987年の「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」である。ここでの方法論として, オゾン層破壊の問題と地球温暖化の問題は経済学上の共通点から類推適応するという手法を用いる。

オゾン層破壊と地球温暖化問題の間には, 以下のような共通点がある。

①地球温暖化問題とオゾン層破壊の問題は, 国際社会全体に関わる問題である。国境を越える大気汚染が, 一部の関係国に限定された問題であるのに対して, オゾン層の破壊や地球温暖化の問題は, 国際社会のすべての国がそれに寄与し, 同時に, 影響を受けるからである。加害者と被害者を区別するのは, もはや不可能である。

②オゾン層破壊の問題と地球温暖化の問題は, 将来の世代の生存基盤にも影響を与えるので, 世代を越えた全人類に共通した利益に関わる問題である。両者とも, 世代間の平等と公正の問題に関係する。

③ある特定の国家にとって望ましく, 利益にかなうことであっても, 全世界にしてみれば不利益になる場合があり, 地球温暖化の問題とオゾン層の問題は, まさにその例である。従って, 両者には, 諸国の個別利益を調整するだけではなく, 世界全体及び全人類の共通利益を実現する新しい指導原理や倫理観が求められる。

④両問題は, 例えば, フロンの大気中への放出, 化石燃料から発生する二酸化炭素の大気中への放出にみられるように人為的に起こされた問題である。しかも, フロンや二酸化炭素などの原因物質はそもそも人体に有害なものでないという点で, これまで

の汚染問題とは異なる。

⑤両問題においては、原因と結果、対策とその効果の間に、数十年というタイムラグが存在する。例えば、フロンが大気中に放出されてオゾン層を破壊するまでに数十年、今すぐフロン削減措置をとったとしても、その効果が現れるまでに数十年かかるといわれている。

⑥影響は、不可逆的であり、一旦被害が発生すれば、その修復のために莫大な費用と時間がかかる。

⑦問題領域にとっては、科学的知見が確立していない。例えば、オゾン層を破壊する物質としてフロンがあげられていたが、どの化学式をもつものか、またそれ以外にどのような物質があるか、温暖化をもたらす物質として二酸化炭素以外に何があるか、オゾン層や温暖化はどのような影響をもたらすか等、まだ解明されていない問題が数多くある。科学的不確実の中で、いかなる行動をとることができ、またとるべきかという問題をこの二つの問題は提起している。

他方、オゾン層の破壊の問題と地球温暖化の問題は、以下の点で異なる。

①オゾン層を破壊する物質として特定されているフロン、ハロンについてはその削減や代替物質への転換が比較的容易であるのに対して、温暖化をもたらすとされる二酸化炭素については、化石燃料の消費が人間の基本的な生産活動に関係しているため、その削減が困難である。

②オゾン層破壊の悪影響が地球的規模で発生するのに対して、温暖化の場合は、地域によって損失を被ったり、利益を得たりするケースが出てくる。

以上の比較によってオゾン層破壊の問題と地球温暖化の問題はこの二つの点で異なる。つまり、代替物質への転換の容易さの問題と、利益のバランスの問題である。第二の特異点は寒冷地域の国が温暖化問題を解決することに消極的な行動をとることが有り得る。しかし現実の中では、北欧、カナダなど、寒冷地域の国々がむしろ積極的に温暖化問題の解決に努力している。だから、この特異性はむしろ温暖化問題の合意に特別な難点にならないであろう。もう一つの先にあげた特異点は、エネルギーの転換、つまり化石燃料から他のエネルギーへの転換の難しさという点である。温暖化の主な原因は二酸化炭素の増加であり、二酸化炭素はエネルギーの供給を目的として、化石燃料の燃焼にともなって放出され

る。そして、エネルギーは生産活動と深く関わっている。経済成長と二酸化炭素の排出削減を両立させるためには省エネルギーによってエネルギー集約度（エネルギー需要/GDP）を下げるか、エネルギー源の転換によって炭素集約度（炭素排出量/エネルギー需要量）を下げる必要がある。世界全体からみると、二酸化炭素の排出量はGDPの成長にほぼ比例的に増加している。しかし、国と国とを比較してみれば、かなりの差がある。

表5-1からみると、各国のエネルギー集約度、炭素集約度、エネルギー転換率は差がある。この差

表5-1 国別エネルギー、GDPの差

1987	GDP	化石燃料	一次エネルギー消費	人口
中国	470,232	581,758	648,646	1,088,570
インド	250,621	141,840	228,511	781,3794
マレーシア	33,474	14,838	17,856	16,526
韓国	111,668	54,764	66,059	41,575
日本	1,370,685	311,360	371,660	122,091
アジア	2,649,420	12,761	167,887	1,751,040

資料：文献⁶⁰による。

はいうまでもなく主に技術的要因である。温暖化問題の国際交渉の中で、途上国が強く求めている技術移転あるいは技術援助はこの点である。もし、アジアのエネルギー技術が日本並の水準になれば、いまのGDPで、二酸化炭素の放出量は36%にとどめることができる。オゾン層破壊問題と比較される温暖化問題は、客観的に異なる点はあるが、本質的な違いは大きくないであろう。つまり、温暖化問題に関する合意の可能性はある。

国際社会の共通の関心事項であるオゾン層保護や温暖化防止にとって、すべての国が規制措置に参加することが望ましい。そのような参加を保証するための公平で効果的なメカニズムを創出する必要がある。その点で、モントリオール議定書は、注目すべき誘引策を提供している。

①規制措置に対する特例をいくつか設けている。例えば、規制措置による工場閉鎖の結果として予想される供給不足に対処するために、締約国間で生産枠を移転することを条件に、1986年の算定値の10%ないし15%の生産地が25,000トン未満の締約

表5-2 旧ソ連・東欧及び主な途上国が日本の設備へ更新の場合のCO₂削減効果（炭素換算百万t）

		電 力			合 計	
		製造業	石 炭	石 油		ガ ス
旧ソ連	更新前	202.43	124.15	66.03	112.92	505.53
	更新後	57.73	86.31	37.18	58.46	239.68
他の東欧	更新前	64.59	139.43	9.51	6.84	220.38
	更新後	27.82	74.17	3.96	2.54	108.48
小 計	更新前	267.02	263.58	75.54	119.76	725.91
	更新後	85.55	160.48	41.14	61.00	348.16
中 国	更新前	150.54	102.53	11.57	0.19	264.83
	更新後	32.2	80.86	9.80	0.14	123.00
インド	更新前	22.66	42.20	2.09	1.51	68.46
	更新後	6.94	31.04	1.18	0.29	39.95
ブラジル	更新前	14.42	0.96	1.34	0.0	16.72
	更新後	11.15	0.65	0.99	0.0	12.79
韓 国	更新前	11.89	4.72	2.10	1.40	20.11
	更新後	7.22	4.27	1.92	1.16	14.57
小 計	更新前	199.51	150.41	17.10	3.10	370.12
	更新後	57.51	116.82	13.89	1.59	189.81
合 計	更新前	466.53	413.99	92.64	122.86	1096.03
	更新後	143.06	277.30	55.03	62.59	537.97

資料：文献⁷⁸⁾による。

国については、産業合理化のために、他の締約国との間で生産量を移転し受領することを認めている。さらに、議定書採択日以前に計画され、着工または契約された生産施設については、1986年を基準にして、その施設に関わる生産量を上乗せできる。

②途上国がオゾン層問題に関する条約に加入しやすいように、途上国に対して特別な配慮をしている。例えば、途上国の基礎的な国内需要を満たすため、規制物質の生産量に限り、1986年の算定値の10%ないし15%の上乗せを認めている。また、規制物質の一人あたりの消費量が0.3キロ未満の途上国に対しては、規制措置の適用を10年遅らせている。さらに、途上国の代替物質や代替技術の取得や利用のために、財政的、技術的援助を行う。

途上国に対する配慮として、前記以外に、途上国の規制措置の実施を促進する財政的条件の整備がある。モントリオール議定書の第二回締約国会合は、

第10条を改正し、オゾン層保護のために「多国間基金」を設立した。基金は国連分担金方式により、先進国が拠出する。基金の規模は当初の三年間（1991-1993）、1億6千万ドルである。基金の運営は先進七カ国と途上国七カ国から構成される管理委員会が行う。基金の使途は、途上国に対する技術移転を含む財政的・技術的協力であって、議定書の規制措置を遵守するために必要な費用の増分をカバーするために使われる。

途上国としても、持続可能な開発の重要性は十分認識できるものの、通常の開発に代えて環境に配慮

表5-3 旧ソ連・東欧及び主な途上国の日本の設備へ更新にかかるコスト（1990-2010）（兆円）

	製 造 業			電 力	合 計
	鉄 鋼	化 石	窯業土石		
旧ソ連	14.40	3.78	5.15	14.95	38.33
他の東欧	5.34	3.39	2.69	5.08	16.5
中 国	7.43	1.52	9.42	8.42	26.79
インド	1.65	0.34	1.99	2.98	6.95
ブラジル	2.52	2.09	1.43	0.17	6.22
韓 国	1.04	1.51	1.34	0.81	4.69
合 計	32.32	12.63	22.03	32.41	99.48

資料：文献⁷⁸⁾による。

した開発とするために追加的に必要となる資金については、自国だけで調達できるものではなく、国際的な協力が不可欠のものであった。この資金問題は重要な問題であった。途上国は、温暖化などの地球環境問題の原因はもとより先進国にあるのだから、問題解決に必要な資金は、「補償」的な性格をもち、先進国は義務として、これを拠出すべきであると主張する。この資金は新規かつ追加的なものであるべきで、拠出者優先の既存の資金供給機関に代えて、途上国の意見の反映される新たな国際的資金供給メカニズムを設けることが要求された。一方、先進国は、環境保全の責任は、程度の差こそあれ、第一義的にはすべての国にあり、先進国が資金供給を義務として行うべきものではなく、追加的資金の必要性は認めるが、新たな資金供給メカニズムの創設は必要なく、二国間及び多国間の既存の援助システムの活用が重要とした。

温暖化問題を解決するためには、誘引策が必要である。第1に、先進国から発展途上国への技術移転を積極的に図る必要がある。第2に、資金援助が不可欠である。第1の技術移転については、環境保全のための技術移転は地球環境問題の解決に必要な不可欠なため、技術移転は必要である。民間が保有する技術であっても、譲渡的な条件（金利・返済機関などの条件が緩和されていること）での移転を必要とする途上国と、民間に対して非営利的条件で技術移転を求めることが不可能で、技術開発の停滞を招くために知的所有権の尊重を必要とする先進国とが対立する。先進国側は、途上国との技術の有償の取引ができ、途上国への援助ができない。この技術援助の問題はやはり経済の利益の問題である。前に述べた二つの誘引策は実際に一つの経済（金銭）的誘引策に絞ることができる。先進国は温暖化の問題が全世界のすべての国の共通の責任であることを強く主張したが、途上国は主に先進国の責任であると強く主張した。この激しい対立の裏で、やはり注目されるのは経済利益の問題である。

前に述べたように、アジアがエネルギー構造、エネルギー効率などが日本の水準並になれば、アジアGDPあたりの二酸化炭素の放出量はいまの36%にすぎない。もちろん、エネルギー構造などの指標がその国の資源の量およびパターン、経済力、あるいはGDPに依存しているから、エネルギー構造が日本と同じになることは非現実的である。しかし、仮に、エネルギー構造が一定しても、単なる設備更新によって、エネルギー効率の向上、二酸化炭素の放出の抑制ができる。試算によれば、設備更新によって、二酸化炭素の放出量が半分近くまで抑制でき

る。設備更新は資金が必要である。旧ソ連、中国、インドなどの国が更新に必要な資金は約100兆円ぐらい。この資金額はもともと資金不足のこれらの国にとってはもちろん拠出できないが、第三章で分析したように、全世界規模で国際機関によって集められた炭素税よりはるかに小さい金額である。この計画は全く可能性がないわけではない。

国際機関によって集中された税金は463,187億ドルにのぼる。人口一人あたりに分配すれば、発展途上国が支払う税金を差し替えて、120,318億ドルが得られる。この金額はエネルギー関係の設備の更新に使われる必要金額をはるかに上回る。

5. 残された課題

本論文は、地球環境問題を解決するための国際合意が不可欠であることに関する研究である。ここでは、地球環境問題は化石燃料の使用によって生ずる地球温暖化や、フロンガスによるオゾン層破壊のように、その影響が地球上すべての人間に及ぶ地球環境問題である。経済学の視点からみれば、このような環境問題を生ずる原因物質は典型的な公共“財”（public bads）である。本論文の分析方法は他の国際環境問題（例えば、酸性雨の問題）を分析するような手法を用いることはできない。なぜならば、硫酸化物は二酸化炭素のような完全公共財の性質を持っていないためである。

本論文では動学モデルに二つの同格な国を扱ってきた。この二つの国は社会の背景（環境、消費財に対する選好）が同質で、経済力が同様であるという仮定をしている。直感的には、同格な二つの国の間（先進国同士）では、非同格な二つの国（先進国と途上国）の間より地球環境問題を解決しやすい。この理由に基づき、本論文の二つの同格な二か国モデルから導かれた自主規制が不可能であるという結論によって、非同格のモデルでは自主規制はさらに不可能であるという結論が成立する。残念なことに、非同格な国の間での自主規制の不可能性が同格の国の間のそれより大きくなることの厳密な証明はこれまでの研究では得られていない。これは残された将来の課題である。

参考文献

1. AVENHAUS, RUDOLF, (1992), "Monitoring the Emission of Pollutants by Means of the Inspec-

表5-4 国際機関による徴収される炭素税および分配 単位：億ドル（1990年価格）

	支出	収入	純収入
EC	64923	32701	-32222
北米	118246	27652	-90594
日本	19576	12738	-6838
他のOECD	111164	5373	-5791
石油輸出国	25171	40297	+15126
途上国など	224108	344426	+120318
全世界	463187	463187	0

資料：文献⁹⁾による。

- tor Leadership Method”, *Conflicts and Cooperation in Managing Environmental Resources* (Rudiger Pethig, Eds.), Springer-Verlag, pp. 241-268.
2. BAGCHI, A., (1988), “Applications of Dynamic Stackelberg Games” in T. Basar eds, *Dynamic Games and Application in Economics*, Springer-Verlag, pp. 123-167
 3. BARRETT, SCOTT, (1992), “International Environmental Agreements as Games”, in *Conflicts and Cooperation in Managing Environmental Resources* (Rudiger Pethig, Eds.), Springer-Verlag, pp. 11-35
 4. BASAR, T. and OLSDER G. J., (1982), *Dynamic Noncooperative Game Theory*, Academic press.
 5. BAUMOL, WILLIAM J. and WALLANCE E. OATES, (1988), *The Theory of Environmental Policy* (Second Edition), Cambridge University Press.
 6. BERNHEIN, b. d., B. PELEG, and M. WHINSTON, “Coalition-proof Nash equilibria. I: Concepts”. *Journal of Economic Theory*, vol. 12, 1987, pp. 1-12.
 7. BRADEN, J. B. and DANIEL W. BROMLEY, “The Economics of Cooperation Over Collective Bads”, *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 8, 1981, pp. 134-150.
 8. CLEMHOUT, S. and H. WAN, (1986) “Common-Property Exploitations under Risks of Resource Extinctions”, in *Dynamic Games and Applications in Economics*(T. Baser Eds.) pp. 267-288.
 9. CORNES, RICHARD. and TOLD SANDLER, (1986), *The Theory of Externalities, Public Goods, and Club Goods*, Cambridge University Press.
 10. DOCKNER, Engelbert. J. and NGO VAN LONG, “International Pollution Control: Cooperative Versus Noncooperative Strategies”. *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 24, 1993, pp. 13-29
 11. EICHBERGER, JURGEN, (1993), *Game Theory for Economists*. Academic Press, Inc. New York. london. Tokyo.
 12. FERSHTMAN, CHAIM and Morton I. Kamien, “Dynamic Duopolistic Competition with Sticky Prices” *Econometrica*, vol. 55, no. 5, 1987, pp. 1151-1164.
 13. FOLMER, H. and C. W. HOWE, “Environmental Problems and Policy in the Single European Market”, *Environmental and Resource Economics*, vol., 1991, pp. 17-41.
 14. FRIEDMAN, J. W., (1990), *Game Theory with Application to Economics*. Second Edition, New York, Oxford: Oxford University Press.
 15. FUDENBERG, DREW and J. TIROLE, (1991), *Game Theory*. MIT Press.
 16. GOTTINGER, HANS W., (1992) “Economic Models of Optimal Energy Use under Global Environmental Constraints”, in *Conflicts and Cooperation in Managing Environmental Resources* (Rudiger Pethig, Eds.), Springer-Verlag, pp. 134-182.
 17. HANIG, M., (1986), *Differential Gaming Models of Oligopoly*. Ph. D. thesis, Massachusetts Institute of Technology.
 18. HO, Y. C., “Survey paper: Differential games dynamic optimization and generalized control theory”. *Journal of Optimization Theory and Application*, vol. 6, no. 3, 1970, pp. 179-209.
 19. HOEL, MICHAEL, “Global Environmental Problems: The Effects of Unilateral Actions Taken by One Country”. *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 20, 1991, pp. 55-70.
 20. HOEL, MICHAEL, (1992), “Emission Taxes in a Dynamic International Game of CO₂ Emission”, in *Conflicts and Cooperation in Managing Environmental Resources* (Rudiger Pethig, Eds.), Springer-Verlag, pp. 39-67.
 21. ISAACS, R., (1975), *Differential Games*, 2nd edn, Kruger Publishing Company, Huntington, New York.
 22. JORGENSEN, S., (1986), *Optimal Dynamic Pricing in an Oligopolistic Market A Survey*. in “*Dynamic Games and Applications in Economics*” (T. Baser Eds.) pp. 179-237.
 23. KAITALA, V., (1988), “Game Theory Models of Fisheries Management-A survey” in T. Basar eds, *Dynamic Games and Application in Economics*, Springer-Verlag.
 24. KREPS, D., (1990), *A Course in Microeconomic Theory*. Princeton University Press.
 25. LONG, N. V., “Pollution Control: A Differential Game Approach”. *Annals of Operation Research*. vol. 27, 1992, pp. 283- 296.

26. MALER, KARL-GORAN, "National Accounts and Environmental Resources", *Environmental and Resource Economics*, vol. 1, 1991, pp. 1-15.
27. MALER, KARL-GORAN, (1992), "Critical Loads and International Environmental Cooperation", in *Conflicts and Cooperation in Managing Environmental Resources* (Rudiger Pethig, Eds.), Springer-Verlag, pp. 71-78.
28. MUNRO, G. R., (1991), "Differential Games and the Optimal Management of Transboundary Fisheries", in *Dynamic Games in Economic Analysis* (R. P. Hamalainen and H. K. Ehtamo, Eds.), Springer Lecture Notes in Control and Information Sciences vol. 157, Springer-Verlag, pp. 95-101.
29. MERLMAN, ALEXANDER, (1988), *Applied Differential Games*. Plenum Press.
30. NEHER, PHILLIP A., (1990), *Natural Resource Economics Conservation and Exploitation*. Cambridge University Press.
31. OECD, *Economic Instruments for Environmental Protection* OECD, 1989.
32. OLSON, L. J., "The Search for a Safe Environment: The Economics of Screening and Regulating Environmental Hazards", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 19, 1990, pp. 1-18
33. PEARCE, DAVID W. and R. KERRY TURNER, (1990), *Economics of Natural Resources and The Environment*. Harvester Wheatsheaf.
34. POJOLA, M., (1986), "Application of Dynamic Game Theory to Macroeconomics", in *Dynamic Games and Applications in Economics* (T. Basar Eds.) pp. 103-133.
35. PORTER, R., "environmental Negotiations, its Potential and its Economic Efficiency", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 15, 1988, pp. 129-142.
36. PRINCE, R., "A Note on Environmental Risk and the Rare of Discount: Comment", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 12, 1985, pp. 179-180.
37. RANDALL, ALAN., (1987), *RESOURCE ECONOMICS: An Economic Approach to Natural Resource and Environmental Policy* (Second Edition). John Wiley & Son.
38. RUBIN, S. J. and T. R. GRAHAM, (1982), *Environment and Trade*, Allanheld, Osmun & Co. Publishers.
39. RUSSELL, C. S. and W. J. VAUGHAN, "The National Recreational Fishing Benefits of Water Pollution Control", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 9, 1982, pp. 328-696.
40. SCHAFFER, M., (1991), "Pollution Vs. Nature-Differential Game Models in Dynamic Games in Economic Analysis (R. P. Hamalainen and H. K. Ehtamo, Eds.), Springer Lecture Notes in Control and Information Sciences, vol. 157, Springer-Verlag, pp. 112-122.
41. SELTEN, R., "Reexamination of the perfectness concept for equilibrium points in extensive games". *International Journal of Game Theory*, vol. 4, 1975, pp. 25-55.
42. SHOGREN, JASON F., KYUNG H. BAIK, and THOMAS D. CROCKER, (1992), "Environmental Conflicts and Strategic Commitment", in *Conflicts and Cooperation in Managing Environmental Resources* (Rudiger Pethig, Eds.), Springer-Verlag, pp. 85-106.
43. SIEBERT, HORST, (1992), *Economics of the Environment: theory and policy*. 3rd. Springer-Verlag.
44. SMITH, V. K. and J. V. KRUTILLA, "Economic Growth, Resource Availability, and Environmental Quality", *American Economic Review*, vol. 74, 1984, pp. 226-230.
45. SPULBER, D. F., "Optimal Environmental Regulation Under Asymmetric Information", *Journal of Public Economics*, vol. 35, 1988, pp. 163-181.
46. STARR, A. W. and Y. C. HO, "Nonzero-Sum Differential Game", *Journal of Optimization Theory and Application*, Vol. 3, 1969, No. 3 184-206.
47. TSUTSUI, SHUNICHI and KAZUO MINO, "Non-linear Strategies in Dynamic Duopolistic Competition with Sticky Prices". *Journal of Economic Theory*, vol. 52, 1990, pp. 136-161.
48. TULKENS, H., "Dynamic Processes for Public Goods", *Journal of Public Economics*, vol. 9. 1978 pp. 163-201.
49. UZAWA, HIROFUMI, (1991), "Global Warming Initiative: The Pacific Rim", *Global Warming: Economic Policy Responses.* (R. Dornbush and J.M. Poterba eds.), MIT Press, pp. 275-324.

50. VARIAN, H., (1992), *Microeconomic Analysis*, 3d ed. NORTON.
51. WHALLEY, J. and R. WIGLE, (1991), "The International Incidence of Carbon Taxes". *Global Warming: Economic Policy Responses.* (R. Dornbush and J.M. Poterba eds.), MIT Press, pp.275-324.
52. WILLETT, K. D. and R. SHARDA, "A Dynamic Multimarket Equilibrium Model for the Economic Analysis of Pollution Control Policies", *Environmental & Planning*, vol. 20, 1988, pp. 391-405.
53. 伊藤正己(編集代表)「国民法律百科大辞典」ぎょうせい, 昭和59年9月。
54. 宇沢弘文・國則守生編「地球温暖化の経済分析」東京大学出版会, 1993年。
55. 宇沢弘文・高木郁郎編「市場・公共・人間——社会的共通資本の政治経済学」第一書林, 1992年。
56. OECD 環境委員会著, 環境著地球環境部監修「地球の環境のための市場経済革命」ダイヤモンド社, 1992年。
57. OECD (経済協力機構) 著, 石弘光監訳「環境と税制」有斐閣, 1993年。
58. OECD (経済協力機構) 編集「OECD レポート日本の環境政策」中央法規1991年。
59. 大芝亮「国際組織の政治経済学」有斐閣, 1994年。
60. 科学技術庁科学技術政策研究所編「アジアのエネルギー利用と地球環境」1992年4月。
61. 環境庁編「環境白書」(平成3年総論), 1991年。
62. 環境庁編「環境白書」(平成3年各論), 1991年。
63. 環境庁編「環境白書」(平成4年総論), 1992年。
64. 環境庁編「環境白書」(平成4年各論), 1992年。
65. 環境庁編「環境白書」(平成5年総論), 1993年。
66. 環境庁編「環境白書」(平成5年各論), 1993年。
67. 環境庁編「環境白書」(平成6年総論), 1994年。
68. 環境庁編「環境白書」(平成6年各論), 1994年。
69. 環境庁地球環境部編「地球環境キーワード事典(改訂)」, 1992年4月。
70. 経済企画庁総合計画局編「地球環境問題・日本経済への提言」中央法規, 1992年3月。
71. 国際連合統計局「(国際連合)世界統計年鑑」1987年-1991年。
72. 資源エネルギー長官官房企画調査課編「総合エネルギー統計」平成元年度版。
73. 資源エネルギー長官官房企画調査課編「総合エネルギー統計」平成2年度版。
74. 資源エネルギー長官官房企画調査課編「総合エネルギー統計」平成5年度版。
75. 総務庁統計局編「国際統計要覧」1965年——1992年。
76. 総務庁統計局編「世界の統計」(国際統計要覧) 1994年。
77. ジム・マクニール, ビーター・ビンゼミウス, 薬師寺泰蔵著; 日米欧委員会日本委員会訳「持続可能な成長の政治経済学」ダイヤモンド社, 1991年。
78. 富舘孝夫・木船久雄「最新・エネルギー経済入門」東洋経済新報社, 1994年7月。
79. 人間環境問題研究会編「(特集)地球環境問題と国際的対応」有斐閣, 1991年10月。
80. ハムフェリー, C. F. H. バドル著; 満田久義等訳「環境・エネルギー・社会」ミネルヴァ書房, 1982年。
81. ポール・W・パークレイ, デビット・W・セクラ著; 白井義彦訳「環境経済学入門」東京大学出版会, 1990年5月。
82. 寄本勝美編集「地球時代の環境政策」ぎょうせい, 1992年12月。
83. レスター・R・ブランウン編集, 松下和夫監訳「地球白書'88-'89」ダイヤモンド社, 1989年。

謝 辞

本論文を取りまとめるにあたり、ご指導をいただいた北海道大学大学院環境科学研究科出村克彦教授と黒柳俊雄(元)教授および北海道大学農学部広政幸生助教授(現明治大学農学部助教授)に心より感謝の意を表します。

北海道大学理学部数学科儀我美一教授はご多忙の中、連日で懇切成るご指導とご校閲を賜った。さらに、微分ゲームの発展方向についてご示唆頂いた。心から感謝申し上げます。

本論文の作成中、農学部開発経済学講座土井時久教授と長南史男助教授からご指導と同時に、いろいろな便宜をはかっていただいたことに心から感謝申し上げます。

また北海道大学大学院環境科学研究科小島豊教授と加賀屋誠一助教授からも、貴重な意見を頂いた、心から感謝申し上げます。

論文の最後段階で、出村克彦教授はご多忙の中、連日でご校閲を賜った。心から感謝申し上げます。

Summary

The purpose of this paper is to demonstrate that without international agreements regarding global environmental problems, "voluntary coop-

eration" (ie. voluntary environmental regulations) cannot be attained, even if all countries seek long term benefits for themselves. Although real international environmental problems tend to be complicated, they can be explained by a simple model for analysis. According to this simple model voluntary cooperation of the involved countries should be more easily obtained, yet it is in fact too complex, indeed impossible to achieve voluntary cooperation. Therefore, in order to reach a solution for global environmental problems, international agreements (ie. "treaties") are necessary.

If voluntary cooperation is not an equilibrium in the game, global environmental problems must be resolved by international agreements alone. However, it would be easier to solve these problems if voluntary cooperation were a perfect equilibrium in the game. In this case, free-riding would not occur, and the result of voluntary of cooperation would be reached under that one or some countries declare to take the strategies in advance.

Although many papers have been written using static game theory to analyze the necessity of agreements, relatively few have been written based on a dynamic game theory. Due to the possibility that a result of disequilibrium in the static game can become a result of equilibrium in the dynamic game, the demonstration of the necessity of international agreements though the analysis of the static game is not sufficient. Therefore, it is necessary to use the dynamic model in order to demonstrate the necessity of international agreements.

In conclusion, this paper will show that voluntary regulations or the avoidance of free-riding is impossible. Even though international agreements are hard to reach, they are indispensable if we want to solve global environmental problems.