

DSSR

Discussion Paper No. 22

環境と経済成長

堀井 亮
生藤 昌子

2014年2月

Data Science and Service Research
Discussion Paper

Center for Data Science and Service Research
Graduate School of Economic and Management
Tohoku University
27-1 Kawauchi, Aobaku
Sendai 980-8576, JAPAN

環境と経済成長¹

東北大学 堀井 亮

University of Southern Denmark 生藤 昌子

2014年2月

要旨

本論文では、環境の質と経済成長の間の双方向の因果関係を分析する。経済成長が進むと汚染排出の増加によって環境の質を低下させる場合があるが、一方環境の質が低下すると、経済の生産性が損なわれるために経済成長の持続を困難にする。このような双方向の因果関係を本論文では「成長の限界」と呼ぶが、低開発国においては成長の限界は「貧困と環境悪化の罍」という形で現れる。諸国間の所得および環境の質の長期にわたる格差は、このような罍の存在によって説明されうる。また、環境と成長の双方向の因果関係は、世界経済全体の成長持続性をも脅かす。特に、経済成長による温室効果ガス排出が自然災害のリスクを上昇させる場合、その脅威は深刻となる。このような因果関係を断ち切るためには、環境政策の強化が必要となる。たしかに短期的には経済成長と環境改善の間にはトレードオフがあるが、長期的には適切な政策により環境・経済成長のいずれをも改善できることが本論文で示される。

キーワード： 環境クズネツ曲線、成長の限界、貧困と環境悪化の罍、経済成長の持続可能性、自然災害

¹ 本論文は「食生活科学・文化及び環境に関する研究助成研究紀要 第23巻」への寄稿を目的として、Ryo Horii and Masako Ikefuji (2014) “Environment and Growth,” in Shunsuke Managi (ed.), *Handbook of Environmental Economics in Asia*, Routledgeの一部を抜粋、日本語化したものである。本論（前述の英語論文）の執筆に当たり、Iain Fraser, Katsuyuki Shibayama 両氏による有益なコメントを頂いた。また、ドイツ・パダボーン大学、フランス・GREQAM（エクスマルセイユ大学）、イギリス・ケント大学のスタッフおよびStefan Jungblut, Nobuyuki Hanaki 両氏には本論を執筆する機会を頂き大変感謝している。本研究は、公益財団法人アサヒグループ学術振興財団、DAAD、Daiwa Anglo-Japanese Foundation、野村財団、および科学研究費補助金(23730182, 23530394)の助成を受けた。もちろん、本論のいかなる誤りも筆者の責任である。

1. イントロダクション

経済成長を自然環境といかに共存させるかという問題は、経済学者にとって非常に重要だが容易ではない課題である。産業革命以降、アメリカにおける一人当たり所得の増加率はおおよそ安定的であった。図 1 に示されるように、アメリカにおいて計測された一人当たり実質 GDP は指数関数的に増大しており、19 世紀半ば以降のその増加率はおおよそ 2% 程度であった。図 1 においては、多くのアジア諸国がアメリカの一人当たり所得水準に追いつきつつあることも示されている。近代的経済成長が開始した時期は国によって異なるが（例えば、日本の近代経済成長は比較的早く始まったが、中国の顕著な経済成長は最近の現象である）、20 世紀後半以降のアジア諸国の経済成長率はアメリカよりも高い傾向にあった。このような傾向が続けば、アジア諸国の中の成功グループの一人当たり所得は、いずれ指数関数的に増大するアメリカの一人当たり所得に収束していくと考えられる。

しかし、世界全体における経済成長が生産量の指数関数的増大を意味し、そのためにはますます多くの自然資源の投入が必要であるとするならば、このような経済成長プロセスをいつまでも続けるのが不可能になるのはほぼ自明なことである。これは、Meadows et al. (1972) によって「成長の限界」という表題で研究されたテーマであり、その後多くの論文において自然資源の有限性制約下での経済成長の持続可能性が研究された（萌芽的研究としては、Dasgupta and Heal 1974; Smith 1974; Stiglitz 1974 等が挙げられる。また、Krautkraemer 1998 によるサーベイも参照されたい）。

自然資源の有限性だけではなく、生産やある種の生産要素を用いることに伴う汚染排出も、経済成長を続ける上でのもう一つの制約となる。汚染排出と経済成長の関係についての論文分野は、自然資源の有限性に注目した論文とは別個に発達したが、根源的な問題は同一と言える：つまり、経済活動の背景にある自然環境の有限性である。仮に、経済全体の生産関数が規模に関して収穫一定であり、またすべての生産投入要素は再生産可能、あるいは枯渇しないと仮定してみよう。そのような設定においては、長期の経済成長はすべての生産要素および産出の相似的拡大によってもたらされると考えるのが典型的である。しかし、生産、あるいはいずれかの生産要素の使用が汚染排出を伴うとすると、このような相似拡大的経済成長は、環境を次第に悪化させていくことにつながる。言い換えると、自然環境それ自体を拡大することができない以上、汚染の強度（汚染排出量と自然環境の規模の比率と考えると良い）は生産の増加によって上昇することになる。その結果、環境悪化が健康問題や頻発する自然災害を引き起こし、経済成長自体が困難になってくる。「経済成長に限界はあるか (Are there limits to growth?)」という論文において、Stokey (1988) は AK 型の経済成長モデルを用いてこの種の問題を検討した。それにより技術水準が変わらないという仮定の下で、経済成長の持続を目指すことは最適であるとは言えないという結果が示されたのである。

本論文においては、環境と経済成長の相互関係がどのような意味を持つかを検討する。特に、以下2つの問題に注目したい。1つめは、現在貧困と環境悪化の両方に苦しんでいる低開発国において、いかにすれば経済成長が可能になるかという問題である。2つめは、世界全体において、経済成長が将来に向けていかに持続できるかという問題を考える。これらの2つの問題は従来別々の分野で研究されてきたが、本論文においてはこれら2つの問題を理解する鍵は同一であることを示す：つまり、環境と経済成長の間の相互の因果関係である。以下の章ではそれぞれの問題を検討する。

2. 「貧困と環境悪化の罠」、およびそれによる国際格差

イントロダクションにおいて論じたとおり、経済成長に伴って環境悪化がいつまでも続くようであれば、いずれ「成長の限界」に突き当たることは避けられない。この「成長の限界」の存在は図2のように描写することができる。図2は環境悪化(P)と所得水準(Y)の相互関係を1つの図に表したものである。図中において $\dot{Y} = 0$ 曲線は環境悪化が長期の所得水準に与える因果関係を表しており、所与の環境悪化水準(P)の元では長期において所得水準は $\dot{Y} = 0$ 曲線の示す水準までしか成長できないことを示している。この曲線が右下がりであると言うことは、環境悪化が将来の経済成長のポテンシャルを低下させることを示している。例えば、WHO(2006)に示されるとおり大気汚染は人の健康に悪影響を与えるが、それは労働者の生産性を低下させるのみならず、平均寿命を短縮することにより教育の収益性を低下させ、親が子供に高等教育を受けさせるインセンティブを損なわせることにもなる。さらに、教育を受けた労働者が少ないと、外国企業など高い技術を持つ企業がそのような地域に投資をすることを阻害することにもつながる。このような要因により、汚染排出の上昇、それによる環境悪化は長期の所得を低下させると考えられる。

それでは、環境の質はどのような要素で決定されるのであろうか？その決定要素の1つとして経済成長を考えることができるだろう。経済成長の初期段階においては、生産規模も小さく、所得(Y)も汚染排出(P)も少ない。図2において、このことは経済が原点近くの状況からスタートすることを意味する。その後経済が発展すると、生産規模は拡大する。経済が同じ生産技術を用い続けており、また様々な生産要素の相対価格が変わらないとすると、汚染排出は生産規模と比例的に上昇することになるだろう。図2において、この動きは経路 a で表され、経済は右上方向に直線的に移動し、最終的には $\dot{Y} = 0$ 曲線に突きあたり、それ以上経済成長が続かないことが確認できる。

これは悲観的な結果と思われるが、現実には技術水準は一定ではなく、所得が増加するに従って技術も改善すると考えられる。もし、技術が改善することにより少ない汚染排出で所与の生産量を実現することができるなら、経済成長は技術進歩を通じて環境問題を緩和できる可能性がある。このような考察から所得水準と様々な汚染排出量（ある

いは環境汚染指標)の間には逆 U 字型の関係があるという仮説、いわゆる「環境クズネツ曲線 (Environmental Kuznets Curve: EKC)」仮説が立てられた。もしこの仮説が正しいなら、環境悪化は所得が一定水準に達するまでは続くが、それ以降は経済成長に伴い環境の質は改善していくことになる。図 2 において、経路 b は経済が環境クズネツ曲線に従って動いた場合の軌跡を表している。仮に、経済が $\dot{Y} = 0$ 曲線に突き与える前に汚染排出が減少に転じたとするならば、「成長の限界」を乗り越えて経済成長が持続できることになる。実際、Grossman and Krueger (1991, 1995)、Selden and Song (1995)等を始めとする研究において、2 酸化硫黄(SO₂)、粒子状物質(SPM)、窒素酸化物(NO_x)等について、環境クズネツ曲線が観測されることが示されている。

しかし、環境クズネツ曲線が存在するといっても、必ずしもすべての国が「成長の限界」を克服できるわけではない。国ごとに技術水準、資源賦与量、制度(特に環境保護に関する規制など)が異なるため、環境クズネツ曲線の形状や位置は国ごとに異なると考えられる。図 3 では、経済が環境クズネツ曲線に従った場合の 3 つの異なる可能性を示している。経路 c は経済が環境クズネツ曲線の頂点に達する前に $\dot{Y} = 0$ 曲線に突き当たるケースを示している。 $\dot{Y} = 0$ 曲線に達した時点において、この経済は貧困と環境悪化の悪循環に陥ってしまう。まず、貧困であるが故に環境悪化を改善できない。このような貧しい経済においては、当面の消費が最優先課題であり、また資金調達も困難であるために、より汚染排出の少ない技術を採用することが困難なのである。同様に、このように貧しい経済においては、当面の生活を一時的にでも苦しくすると思われる厳しい環境基準設定に合意することも困難である。また、逆の因果関係として、このように環境悪化が進んでいる経済では、労働者の生産性が低く、また平均寿命が短いため親たちも子供の教育には熱心ではないなど、環境悪化自体が経済を貧困から抜け出せないようにする要因になっている。このような貧困と環境悪化の悪循環(相互の因果関係)から抜け出せない状況を、我々は「貧困と環境悪化の罠」と呼んでいる。

図 3 の経路 d は、環境汚染の程度が環境クズネツ曲線全体を通じて低く、 $\dot{Y} = 0$ 曲線に達する前に環境クズネツ曲線の頂点を乗り越えられるような経済発展経路を示している。この場合、経済は環境水準・所得水準のいずれもが「貧困と環境悪化の罠」にとらわれた経済よりも良好な定常状態に至ることができる。さらに経路 e は、経済が「成長の限界」に突き当たることなくいつまでも成長を続けることも理論的には可能であることを示している。このような考察から、環境水準・所得水準は長期的には国ごとに大きく異なること、また長期的な汚染排出量と所得水準の間には負の関係があることが理論的に予想される。図 4 は、アジア諸国において大気汚染 (PM₁₀ 粒子状物質の濃度) と一人当たり所得の間に負の関係があることを示しており、理論的予想が実際に当てはまっていることを示している。

ここまでの議論においては、環境クズネツ曲線の形状は外生的であるとして議論してきた。但し、実際は環境負荷の小さな技術を採用するかどうか、またそのために必要

となる高等教育を受けるか否かなど、環境クズネツ曲線の背景には経済主体の意志決定が重要な役割を果たしている。実際に、ある国がなぜ「貧困と環境悪化の罠」にとらわれているのか、さらにはそういった経済を罠から救い出すにはどのような手段を講じる必要があるのかを明らかにするためには、上記のような意志決定を明示的に取り入れた理論的モデルが必要になる。Hori and Ikefuji (2014、第3章)ではそのような理論モデルを概説しており、低所得国における「貧困と環境悪化の罠」からの脱出には先進国による一定期間の援助が有効であることが示されている。また、Ikefuji and Hori (2007)では一国内における所得不平等を取り入れ、再分配政策と「貧困と環境悪化の罠」の関係を議論している。

3. 温暖化による災害リスク上昇と経済成長の持続可能性

汚染排出は各国の個別経済の問題であるだけでなく、世界全体の問題でもある。特に地球温暖化問題の場合、温室効果ガス排出は世界経済全体の活動に依存しているため、世界経済を1つのものとして分析する必要がある。それでは、各国の局地的汚染と同様に、世界経済の平均所得と温室効果ガス排出量の間には逆U字型の関係が存在するのだろうか？残念ながら、Dinda (2004), Kijima et al. (2010)等に示されるように、現在の所、世界所得と温室効果ガス排出量(CO₂等)の間には環境クズネツ曲線の関係は成立していない。もし世界経済が成長するに従って、温室効果ガス排出が増え続けるならば、それは世界全体の経済成長持続可能性にとって大きな脅威となる。

実際、NASA地球観測所のRiebeek (2005)は、地球温暖化による気候変動が熱帯地方の竜巻、モンスーン、台風などの強度を上昇させている徴候を指摘している。図5に示されるように、過去50年において災害による損失は世界のGDPを上回る速度で増加しており、その損失の大きな部分は気候に関連する自然災害が原因となっている。例えば、2005年8月のハリケーン・カトリナはアメリカ経済に1250億ドルの損失を与えた。最近では、2013年の台風30号(英語名: Haiyan)がフィリピンに120億ドルの損害を与えたが、これはフィリピンの経済規模を考えるとかなり大きな損害である。CREDによると、最近洪水もアジアで頻発しており、2011年のタイ洪水では400億ドル、タイのGDPの1/10以上が失われた。このような経済的損害の多くは資本設備の破壊という形で発生している。自然災害は直接資本ストックを破壊するのみならず、生産設備投資の将来の収益性を低下させ投資を減退させるという意味でも資本蓄積を阻害する。もし地球温暖化・気候変動が経済成長に伴って増大し続け、さらに気候変動が自然災害のリスクを増大させるなら、将来のある時点においてそれ以上の経済成長が不可能になることはほぼ自明と言える。

第2節と同様に、位相図を用いてこのような帰結を表すことができる。図6の2つのパネルは世界全体の所得Yと温室効果ガスの濃度Pの仮想的な動きを表したもので

ある。以下のような理由で、 $\dot{Y} = 0$ 曲線はここでも右下がりになる。温室効果ガスの濃度が高いと、気候変動を通じて自然災害のリスクが高まる。自然災害のリスクが高いと生産設備への投資が減少し、定常状態の資本も小さくなるが、これは長期の世界の所得水準が低くなることを意味する。図 2 との違いは、今回は内生的成長の可能性を考慮していることである。内生的成長理論においては、物的資本および人的資本が定常状態に至ることなく蓄積されるプロセスを考え、その蓄積の速度は技術や選好など様々な経済環境に依存すると考える。本論で検討している問題においては、自然災害のリスクが重要な経済環境の一つであり、長期の経済成長率はそれに依存すると考えられるだろう。より具体的には、温室効果ガス排出が上昇すると自然災害のリスクが上昇し資本蓄積が阻害されるので、長期の成長率は低下する人考えられる。特に、温室効果ガス排出が \hat{P} 以上になると長期的な内生的経済成長率が 0 となるような一定の閾値 \hat{P} が存在するだろう。この場合、 $\dot{Y} = 0$ 曲線は Y が大きくなるにつれ点線で示される閾値 \hat{P} に漸近していくことになる。

図 6 パネル(i)の経路 f は、生産量当たりの排出を低下させるような技術進歩が全くない場合の経済成長経路を表している。この場合、経路全体を通じて温室効果ガス排出量と生産量の比率（以下、 P/Y 比率）は一定となる。世界経済の所得が上昇するにつれ、排出は比例的に増え、それに伴って自然災害のリスクも上昇する。リスクの大きさは、最終的には企業が追加的投資を停止する状況まで増大し、それがこの経済にとっての「成長の限界」となる。経済成長を持続させるには、温室効果ガス排出量を \hat{P} 以下に保つことが必要であり、そのためには経済発展に伴い P/Y 比率を持続的に減少させていく必要がある。 P/Y 比率の減少にはいくつかの要素が関わっており、例えば、より進んだ生産技術への移行、汚染を排出する生産要素（化石燃料など）からよりクリーンな生産要素への代替、さらには排出低減技術(abatement)の導入などが含まれる。しかし、いずれにしても私的企業にとって排出低減は費用のかかることであり、当局が適切な政策（例えば環境税率を上げること）により企業にそういった活動を実行させることが必要である。

図 6 パネル(i)の経路 g はそのような政策が実行され、排出水準がろうじて \hat{P} 以下に保たれる場合の例である。この経路上においては、環境税率の上昇などにより P/Y は持続的に低減されているが、排出量 P そのものは閾値 \hat{P} に向けて徐々に上昇をしている。この場合、生産量を制限無く増加することができるという意味において経済成長は持続可能であるが、災害リスクが高まり投資のインセンティブが低下するに従って、長期の経済成長率は次第に低下していくことになる。経路 h はそれよりも厳しい環境政策、例えば経路 g においてよりも環境税率を早く上昇させた場合の経済の経路を表している。このような政策によって将来の温室効果ガス排出量が現在の水準よりも低下するとならば、将来的には地球規模での汚染、つまり地球温暖化についても環境クズネツ曲線が観測されることになるだろう。この場合、地球温暖化による経済への悪影響（災害リ

スクの上昇を含む) は長期的に緩和される。災害リスクが低減されることのメリットが高税率による負の効果を上回るならば、長期的な経済成長率は経路 g の場合よりも高くなると考えられる。

ここまでの議論においては、現在の温室効果ガス排出量が閾値 \hat{P} を下回っていると暗黙に仮定したが、それが正しいかどうかは自明ではない。図 6 のパネル(ii)は、現在の排出量がすでに閾値 \hat{P} を越えており、そのままでは長期の経済成長が維持できないという可能性を描いたものである。この場合、経済成長を持続させるためには経路 i のように P/Y 比率を低減させるだけでは不十分であり、更に厳しい環境政策によって経路 j のように温室効果ガス排出量 P そのものを現在の水準から削減する必要がある。この場合、経済成長は世界全体における将来の温室効果ガス排出量が環境クズネツツ曲線に従う場合にのみ持続可能と言うことになる。つまり、環境クズネツツ曲線が経済成長の結果生まれてくると言うよりも、環境クズネツツ曲線を実現するような適切な環境政策の結果、経済成長が持続可能になると考えることができる。

但し、厳しい環境政策が持続的経済成長に必要であるとしても、そのような政策は短期的には生産費用・生産財価格の上昇に繋がるため、家計の消費を低下させる。そのため、厳しい環境政策が常に社会厚生を改善するとは言えない。更に、長期においても、厳しい環境政策は企業利潤を低下させ、将来の生産のための投資を縮小するので、環境が改善するとしても確実に経済成長率も上がるということとはできない。そのため、どの程度環境政策を厳しくするのが望ましいのかを明らかにするには、温室効果ガス排出と経済成長の相互因果関係を明示的に取り入れた理論モデルを構築する必要がある。Horii and Ikefuji (2014、第 4 章)においては実際にそのようなモデル構築し、経済成長を持続するためには環境税率を持続的に上昇させ続ける必要があることを示し、さらに、経済成長率を最大化する環境税率の上昇率および、社会構成を最大化する環境税率の上昇率を導いている。Ikefuji and Horii (2012)ではさらに温室効果ガスが大気中に蓄積するケースや、災害に対する保険が十分でない状況における家計のリスク回避行動を論じている。

4. 結論

本論文では環境と経済成長との間の相互因果関係を議論した。経済規模が単純に拡大すると、汚染排出はそれに従って増大し、環境が悪化する。そして、環境悪化は経済成長自体を妨げることになる。例えば、大気汚染のような地域的公害の場合、労働者の健康と生産性を損なう。また地球規模での公害、特に地球温暖化は気候を不安定化させ、自然災害のリスクを増大させる。このような負の効果が大きくなれば、経済はもはや物的資本や人的資本を蓄積し続けることが困難になる。これを我々は「成長の限界」と呼んだ。

この相互の因果関係は、個別経済にとっても、世界経済全体にとっても深刻な問題を

発生させる。最貧国においては、貧困と環境悪化が相互に強め合う結果、人々は貧困のため教育を得ることも困難で、それゆえ汚染を発生する技術に依存せざるを得ないという、「貧困と環境悪化の罌」という悪循環に陥ってしまう。このような悪循環の存在により、所得および環境水準の両方において大きな国際格差が発生し、なかなか解消できないと考えられる。世界経済全体についても、もし世界生産量と比例的に温室効果ガス排出が増大するならば、成長はいずれ限界に到達する。

この「成長の限界」を克服する鍵は技術転換、特に汚染を多く発生する技術からより少ない排出で所与の生産量を実現できる技術への転換にある。実際に、環境クズネツ曲線と呼ばれる関係がいくつかの大気汚染物質について観測されており、所得が一定の閾値を超えると、汚染は所得増加に伴い減少することがわかっている。多くの汚染物質に関して、先進国は所得の閾値をすでに超えていると考えられ、高い所得と良い環境を実現している。しかし、これはどの経済についても当てはまるわけではない。最貧国やいくつかの発展途上国は、この閾値を超える前に「貧困と環境悪化の罌」にとらわれてしまったと考えられる。こういった場合、当局は汚染排出の多い技術に対する規制や課税等の政策により、技術転換を促進することが必要になる。このような政策が成功すれば、「貧困と環境悪化の罌」からの脱出が可能になり、長期的に所得増加と良い環境を実現することができる。

一方、地球規模で考えると、温室効果ガス排出は世界経済の成長と共に増え続けており、いまだ環境クズネツ曲線に従っているという徴候はない。理論的には、環境政策を強化しない限り、今後も排出は生産量と比例的に上昇すると考えられる。従って、世界経済の成長を持続させるためには、生産者が化石燃料など汚染排出を伴う生産要素への依存を減らし、新しい技術・スキル・知識（これらをまとめて人的資本と捉えることができる）への依存を高めるように、環境政策を継続的に強化していくことが必要である。このような政策により高成長持続できるならば、将来的には温室効果ガス排出についても環境クズネツ曲線が観測されることになるだろう。

4. リファレンス

Bolt, J., van Zanden, J.L., 2013. The first update of the Maddison Project; re-estimating growth before 1820. Maddison Project Working Paper 4.

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. 2013. Disaster data: a balanced perspective, *CRED Crunch*. Issue No.32

Dasgupta, P., Heal, G., 1974. The optimal depletion of exhaustible resources, *Review of Economic Studies* 41, 3–28.

- Dinda, S., 2004. Environmental Kuznets curve hypothesis: a survey, *Ecological Economics* 49, 431–455.
- Grossman, G.M., Krueger, A.B., 1991. Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement, National Bureau of Economic Research Working Paper 3914, NBER, Cambridge, MA.
- Grossman, G.M., Krueger, A.B., 1995. Economic growth and the environment, *Quarterly Journal of Economics* 110, 353–377.
- Horii, R., Ikefuji, M., 2014. Environment and growth, a chapter in: *Handbook of Environmental Economics in Asia* (Ed. Shunsuke Managi), Routledge. forthcoming.
- Ikefuji, M., Horii, R., 2007. Wealth heterogeneity and escape from the poverty-environment trap, *Journal of Public Economic Theory* 9, 1041–1068.
- Ikefuji, M., Horii, R., 2012. Natural disasters in a two-sector model of endogenous growth, *Journal of Public Economics* 96(9-10), 784-796.
- Kijima, M., Nishide, K., Ohyama, A., 2010. Economic models for the environmental Kuznets curve: a survey, *Journal of Economic Dynamics & Control* 34, 1187–1201.
- Krautkraemer, J.A., 1998. Nonrenewable resource scarcity, *Journal of Economic Literature* 36, 2065–2107.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., and Behrens, W.W.III, 1972. *The limits to growth*. Universe Books, New York.
- Riebeek, H., 2005. The rising cost of natural hazard, NASA Earth Observatory, March 28, 2005.
- Selden, T.M., Song, D., 1995. Neoclassical growth, the J curve for abatement, and the inverted U curve for pollution, *Journal of Environmental Economics and Management* 29, 162–168.
- Smith, V.L., 1974. General equilibrium with a replenishable natural resource, *Review of Economic Studies* 41, 105–115.
- Stiglitz, J., 1974. Growth with exhaustible natural resources: efficient and optimal growth paths, *Review of Economic Studies* 41, 123–137.

Stokey, N.L., 1998. Are there limits to growth? *International Economic Review* 39, 1–31.

World Bank, 1992. *World Development Report*. Oxford University Press, New York.

World Health Organization, 2006. Air quality guidelines. global update 2005, *WHO Regional Office for Europe*, Copenhagen.

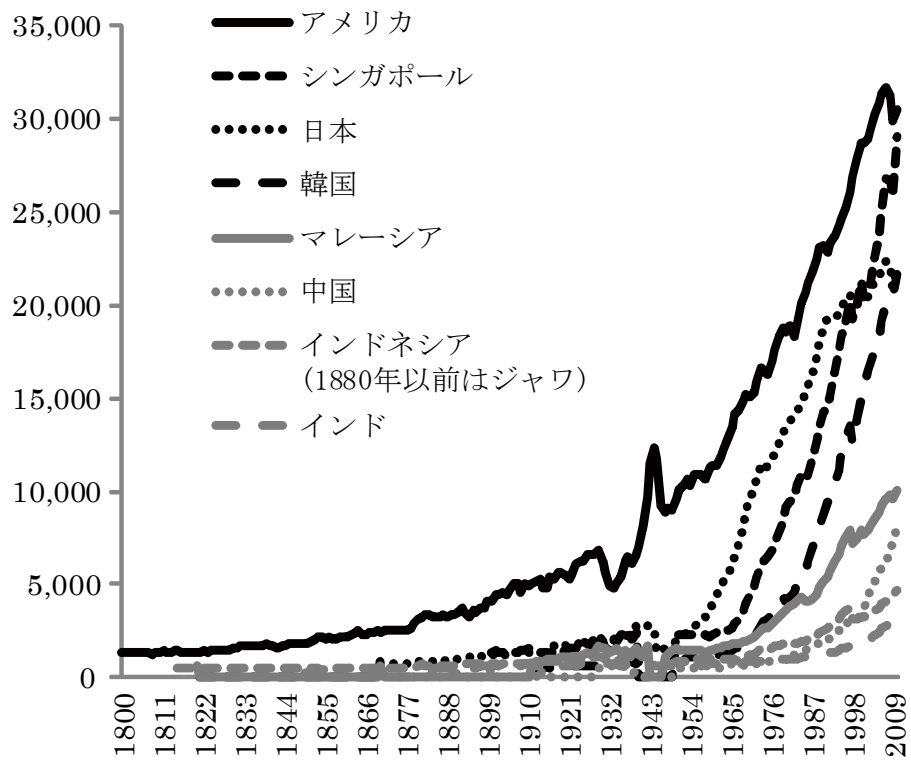


図 1: アメリカおよびアジア諸国における一人当たり GDP の長期的推移 (1990 年ドル価格表示)

出所: Bolt and van Zanden (2013)

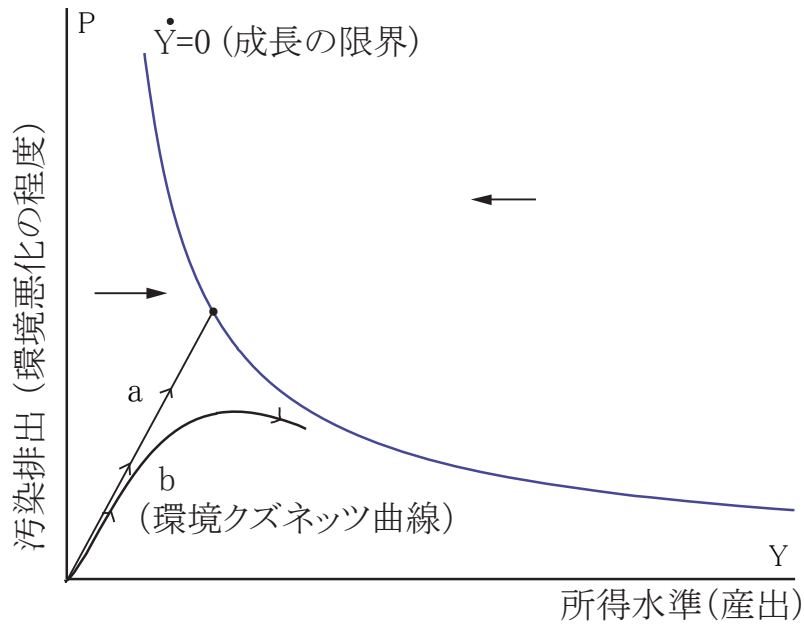


図 2: 所得と汚染排出の関係を表す位相図

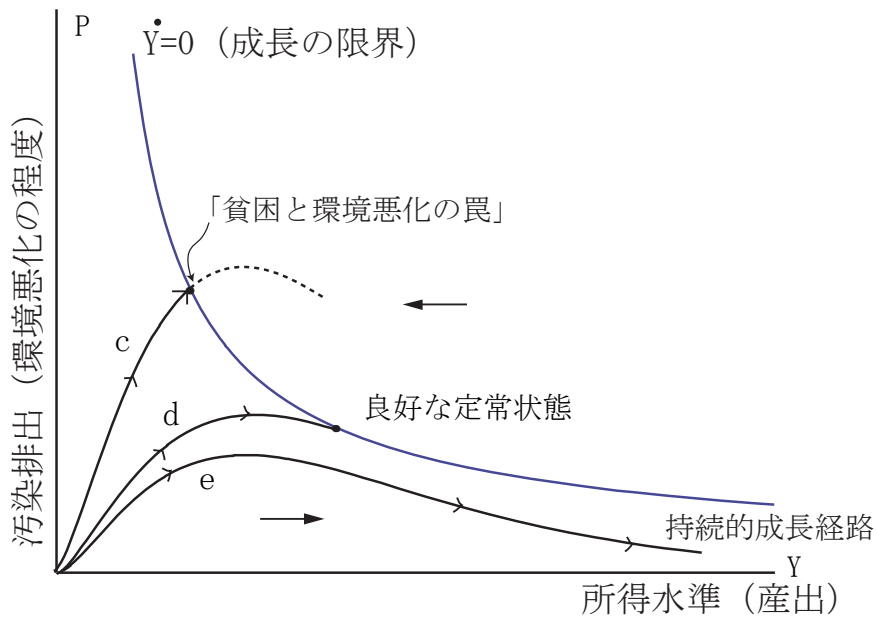


図 3: 貧困と環境悪化の罟

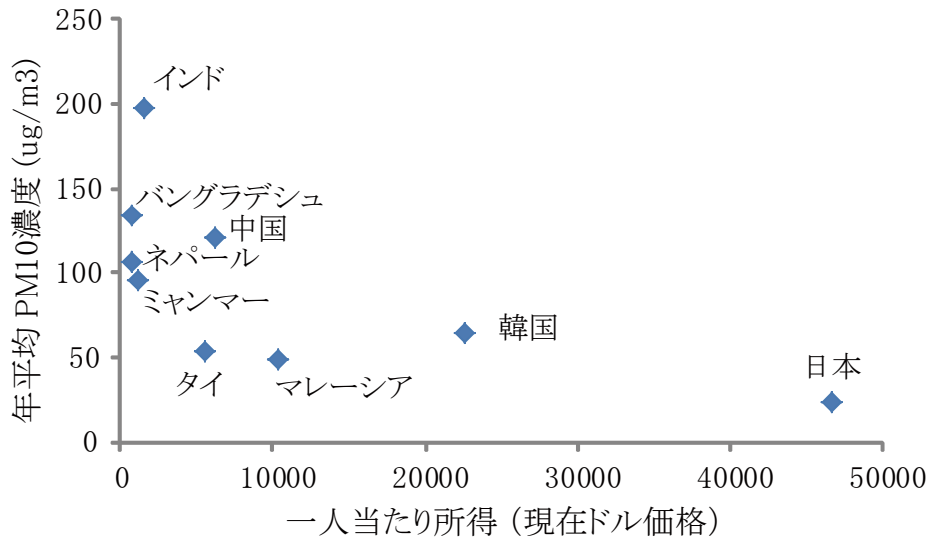


図 4: アジア諸国における一人当たり所得水準と大気汚染の関係

縦軸: 各国首都における年平均の PM10 (直径 10 ミクロン以下の粒子状物質) の濃度。

出所: Urban outdoor air pollution database, Department of Public Health and Environment, World Health Organization, September 2011. 一人当たり所得は世界銀行の World Development Indicators (WDI) より。

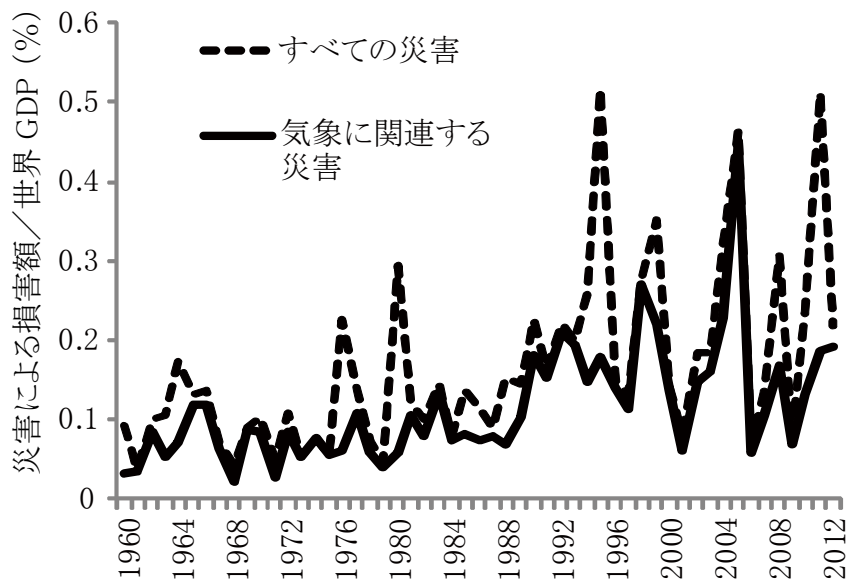


図 5: 世界全体における自然災害による損害額と、世界 GDP との比較

実線は CRED によって Climatological, hydrological, meteorological disasters に分類される気象関連災害による損害を表す。

出所: EM-DAT, the International Disaster Database, CRED, the Universite Catholique de Louvain. 世界 GDP は世界銀行 WDI より。

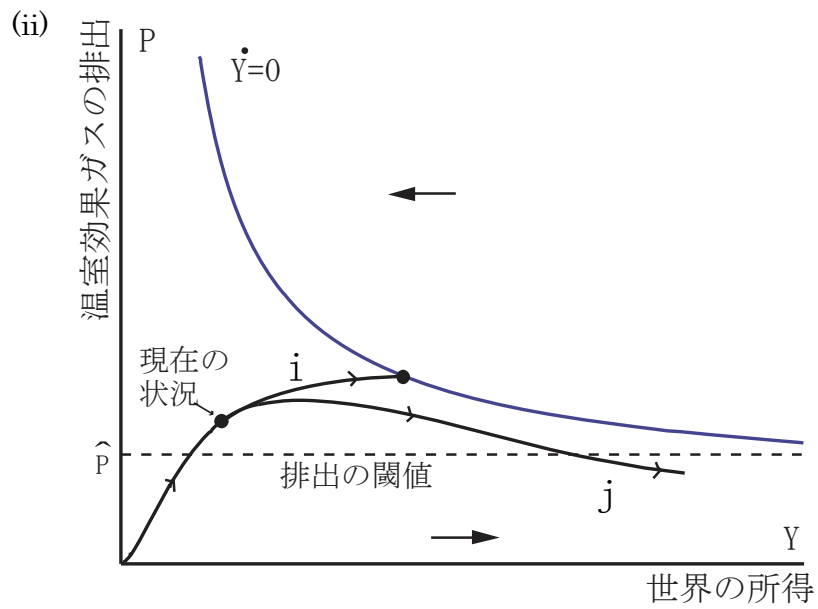
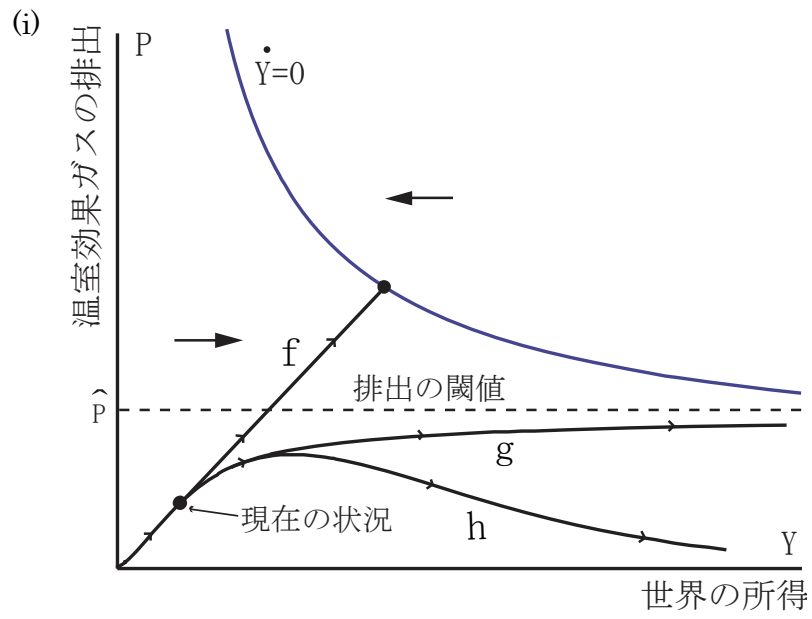


図 6: 地球規模での汚染排出と経済成長の持続可能性