

TERG

Discussion Paper No. 231

「温暖化の危険な水準」を検討する際の論点整理

森杉壽芳、林山泰久、
中寫一憲、大野栄治

2008年2月

TOHOKU ECONOMICS RESEARCH GROUP

GRADUATE SCHOOL OF ECONOMICS AND
MANAGEMENT TOHOKU UNIVERSITY
KAWAUCHI, AOBA-KU, SENDAI,
980-8576 JAPAN

Discussion Paper No.231

「温暖化の危険な水準」を検討する際の論点整理

森杉壽芳・林山泰久・中畠一憲・大野栄治

February 18, 2008

「温暖化の危険な水準」を検討する際の論点整理

森杉 壽芳・林山 泰久・中嶌 一憲^I・大野 栄治^{II}

1. はじめに

従来、地球環境に与える影響の仕組みや影響の程度等について科学的な不確実性が存在する場合には、政策立案者が如何に取り組むべきであるかという問題が存在していた。その後、科学技術の進展によって、社会経済活動が量的に拡大するとともに質的にも多様化した。さらに、今日では、地球環境問題に代表されるように、環境に与える影響が、より複雑、より大規模、より全面的、より根源的なものとなり、科学的な不確実性が存在する状況のもとでの政策決定がより重要となってきた。この問題は、利害関係者が世代間、空間、生物間を超えて多岐に渡るため、現世代の利害関係者間のみでの合理的な意思決定では多くの問題が生ずることを意味しており、以下の3点に要約されよう。

- ①人の生命や生物の存在そのものに致命的被害を与える：不可逆性
- ②地域などの空間スケールを超え、長期に渡る：越境性・蓄積性
- ③次世代の個人、集団、社会が選択や回避の自由度が無い：非選択性

そこで、本稿では、不確実性を有する状況下において、「如何なる政策を実施すべきであるか？」という問題に対する意思決定問題について論ずるものとする。

2. リスク・不確実性・無知の認識とその判断基準

地球環境の劣化に対して社会は如何なる認識を持っているのであろうか。表-1には、リスク、不確実性および無知の概念を整理したものを示す^{III}。

表-1 リスク、不確実性、無知の概念整理【注：EEA(2002)より抜粋】

概念	知識の状況	対応例
リスク	影響：既知，発生確率：既知	回避
不確実性	影響：既知，発生確率：未知	予防的回避
無知	影響：未知，発生確率：未知	予防

これについて Neumayer(2003)は、各々の概念に直面した場合に如何なる意思決定、すなわち、どのような地球環境をどの程度保全すべきであるか、どのような根拠に基づいて決定すべきであるか、という問題が生じるとしている。リスクとは、起こりうる影響あるいは事象の集合およびそれが発生する確率分布が既知の状況を言う。このような意味で地球環境問題は起こりうる事象の確率分布やその

^I 東北大学大学院経済学研究科(仙台市青葉区川内 27-1)

^{II} 名城大学都市情報学部(岐阜県可児市虹ヶ丘 4-3-3)

^{III} リスクと不確実性に関する Savage(1954)や Knight(1921)の議論については、下記を参照されたい。Savage,L.(1954): The Foundations of Statistics, John Wiley.および Knight,F.H.(1921): Risk, Uncertainty, and Profit, Houghton Mifflin.

結果もたらされる利得などが未知であるため、我々の認識段階ではリスク計算が可能であるとは言えない。次に、不確実性とは、起こりうる事象、確率分布およびその結果の利得についての客観的情報は無いものの、個人が起こりうる事象の確率分布や結果の利得について主観的な信念を抱いている場合を言う。したがって、地球環境問題についての認識段階では不確実性に該当することになる。最後に、未知、或いは、無知とは、起こりうる事象、その確率分布およびその結果の利得に関して何も分からないという状況を言う。これに該当するものとしては、生物多様性に関する我々の認識は、不確実性というよりも現段階では無知に該当すると言えよう。

これらのことから地球環境問題に対して社会が、リスク、不確実性、無知の何れかの状況にあるかを判断するかということ極めて重要である。新古典派経済学の枠組みでは、環境評価の伝統的手法を拡張し、オプション価値(Option Value)^{IV}や準オプション価値(Quasi-option Value)^Vを計測し、その結果を費用便益分析(Cost-benefit Analysis)に適用することによって判断を行うことが可能となる。しかしながら、現実的な問題として、上述したオプション価値および準オプション価値が精度を担保した形で計測が可能であるか否かという論争は未だに行われているのも事実である。このような価値を含めた費用便益分析から見いだされる政策決定手法の代替案として、最小安全基準および後述する予防原則を挙げることができる。

(1) 最小安全基準

最小安全基準(Safe Minimum Standards)は、Ciriacy-Wuntrap(1962)が提唱し、「ある行為に伴って不可逆的な環境被害が生じる場合には、その行為を回避するための社会的費用が許容し難いほど大きくなければ、その行為を回避すべきである」と主張したものである。すなわち、この概念は、自然環境は、そのストックがある最低限の水準を下回った場合には、そこから膨大な社会的費用が発生するという閾値、或いは、臨界ゾーンが存在し、この効果を意思決定問題に持ち込んだものと解釈することができる。この概念を生物多様性の問題として例示するならば、当初は単一の種の保存について導入された概念であるものの、昨今では生態系全体を保全することの重要性が指摘されている。しかしながら、数多くの種において、生態学的な意味で正確な最小安全基準なるものは確立されていない。また前述した「許容し難い社会的費用」は、理論的かつ実務的に導き出されたものではなく、倫理的かつ政治的判断に因るものであることは言うまでもない。

(2) 予防原則

環境へのリスクを考慮するならば、予防(Precaution)という概念が重要となる。ここで、「予防」とは辞書によれば、「あらかじめ防止すること」とある。欧州環境庁(European Environmental Agency(2002))によれば、従来のリスクや不確実性に加え、影響や発生確率ともに未知である問題についても予防的対応が必要であるとしている。なお、「保全」と「予防」の差異は、リスクが既知であるか未知であるかで異なるという解釈があり、例えば、道路を横断する前に左右を確認する場合には、自動車が来る可能性が既知であることから「保全」であって「予防」ではないことに象徴されよう。

このようにリスクが存在する状況下における政策決定の考え方の一つとして、予防原則(Precautionary Principle)なる概念が国際的に議論され、表-2に示すように、様々な国際協定や各国の

^{IV} オプション価値とは、将来にその環境質を利用するという選択肢を残しておくことによる価値を言う。

^V 準オプション価値とは、より正確な情報を得て、将来においてより正しい意思決定を下すために、不可逆的な環境破壊を遅らせることの価値を言う。

国内法および政策の中に取り入れられてきた。特に、1992年6月の環境と開発に関するリオ宣言(Rio Declaration on Environment and Development)では、その第15原則に明記されており^{VI}、これを契機として「予防」に関する国際協定の既定は増加し続けている。第15原則では、「環境を保護するためには各国はその能力に応じて予防原則を広範囲に用いるべきである。深刻なあるいは不可逆な損害の驚異がある場合には、完全な科学的確実性の欠如が、環境悪化を防止する費用効率的な対策を延期すべきではない。」とされており、予防原則とは「将来の被害発生を裏付ける科学的な証拠が十分に入手できない現時点で、その被害発生を予防するための暫定的な措置を講ずる」という考え方である。表-2を見れば分かるように、予防原則の適用範囲は広範に渡っており、温室効果ガスの排出規制からホルモン剤を投与された牛肉の輸入禁止や遺伝子組み換え作物の規制といった人間の健康に直接関わる分野まで及んでいるのである。

表-2 予防原則の考え方が取り入れられた国際条約等

<ul style="list-style-type: none"> ・オゾン層破壊物質に関するモントリオール議定書(1987) ・北海保全のための閣僚宣言(1990) ・環境と開発に関するリオ宣言(1992) ・気候変動に関する国際連合枠組み条約(1992) ・マーストリヒト条約(1992) ・ウィングスプレッド宣言(1998,2001) ・国際貿易の対象となる特定の有害な化学物質および駆除剤についての事前かつ情報に基づく同意の手続きに関するロッテルダム条約(PIC条約)(1998) ・生物安全に関するカルタジーナ議定書(2000) ・残留性有機汚染物質(POPs)に関するストックホルム条約(2001) ・持続可能な開発に関する世界首脳会議(ヨハネスブルクサミット)実施計画書(2002)

我が国においては、予防原則の概念は徐々にではあるものの、浸透しつつある、例えば、2000年に策定された国の環境基本計画では(環境庁(2000)), 21世紀初頭における環境政策の展開の方向の中で、環境政策の指針となる4つの考え方の1つとして「予防的な方策」を挙げ、次のような形で取り組むとしている。この部分を引用すると、「環境問題の中には、科学的知見が十分に蓄積されていないことなどから、発生の仕組みの解明や影響の予測が必ずしも十分に行われていないが、長期間にわたる極めて深刻な影響あるいは不可逆的な影響をもたらすおそれが指摘されている問題がある。このような問題については、完全な科学的証拠が欠如していることによって、対策を延期する理由とはせず、科学的知見の充実に努めながら、必要に応じ予防的な方策を講じる」としている。すなわち、これまでの未然防止のために科学的知見の充実に前提とされていた場合と比較すると、不確実性を前提とした

^{VI} 第15原則は、” Principle 15: In order to protect the environment, the precautionary approach shall be widely applied by States according to their capabilities. Where there are threats of serious or irreversible damage, lack of full scientific certainty shall not be used as a reason for postponing cost-effective measures to prevent environmental degradation.”のように予防的取組方法(Precautionary Approach)と表現されているものの、本稿では、予防原則(Precautionary Principle)と称する。なお、残留性有機汚染物質(POPs)に関するストックホルム条約では、EUの出張が「前文および目的等に Precautionary Principle と記述すべき」との主張に対して、JUSSCANNZ 諸国(日・米・豪・カナダ等)は、「Precautionary Principle は国際的に合意された定義が無い概念であることから、個別の条約に新たに導入するのは不適当であり、必要であるならばリオ宣言の Precautionary Approach を引用すべきである」と主張し、両者の概念が異なるものと解釈されている場合があることに注意されたい。なお、この議論の過程でこれら概念の差異を下表に示す。【英文出典】 <http://www.unep.org/unep/rio.htm>

予防的取組方法(Precautionary Approach)	予防原則(Precautionary Principle)
<ul style="list-style-type: none"> ・ Lack of Full Scientific Certainty があっても対策を講じる ・ 科学的なリスク評価を尊重する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ Lack of Scientific Certainty があっても対策を講じる ・ 科学的なリスク評価よりも政治的な判断を尊重する

施策の実施に一步踏み込んだ考え方であるものと言えよう。

3. 温暖化の危険な水準を検討する際のシナリオ設定

気象庁・環境省・経済産業省監修(2002)の IPCC 地球温暖化第3次レポートでは、適応措置(Mitigation)は緩和措置(Adaptation)を補完するものとして位置づけられてきたものの、近年では、適応措置と緩和措置を一体的に捉えその Best Mix を目指すという Integrated Approach が提唱されている^{VII}。しかしながら、Integrated Approach は、緩和措置と適応措置のトレード・オフ問題が発生する場合があります。例えば、ダム建設のための森林伐採のように適応措置が結果として温室効果ガス(Green House Gases, 以下、GHGs と略す)排出を招く可能性があることに注意されたい。また、表-3には地球温暖化による影響項目と適応措置の例を示す。地球温暖化によって予想されている影響項目は、水資源、農業、生態系から人間の健康、金融・保険市場まで多岐に渡っており、その具体的な適応措置は、所謂、開発政策と共通する点が多いことが特徴的である。

表-3 地球温暖化によって予想される影響項目と適応措置の例

予想される影響項目	適応措置の例
・洪水被害 ・干ばつ被害 ・農作物生産量の増減	・ダム、堤防、ため池の建設・強化 ・植林による土壌の水吸収機能の強化 ・植え付け、収穫の管理時期の変更 ・品種改良、土壌改善
・人間の健康への影響 (マラリア等伝染病の感染地域の拡大) ・保険費用の増大	・病院等医療施設の充実 ・伝染病予防接種の対処地域の拡大 ・再保険等によるリスク分散

本稿では、温暖化の危険な水準を設定するためには GHGs 安定化濃度を決定しなければならないという立場から、次のような視点からシナリオを考える。その第1は、上述した適応措置を実施するかどうかという問題である。これは、京都議定書(Kyoto Protocol)に明記された緩和措置を実施するという前提で、Best Mix として先進国主導の下、どの程度、緩和措置を実施するかという問題である。また、第2は、温暖化による影響が発現した場合に、先進国の社会厚生を重視するか、或いは、途上国の社会厚生を重視するかといった、公平性(Equity)の視点である。これについては、全球規模において如何なる社会厚生関数(Social Welfare Function)を想定するかといった大問題であり、先進国と途上国の厚生ウェイトについては理論的にアプリオリに決定することは不可能であるため、複数のシナリオを設定する必要がある。

4. 不確実性下の意思決定基準

いま、3. のような、温暖化の危険な水準を設定するために GHGs 安定化濃度を決定しなければならないという状況を考える。また、各々の代替案(ここでは、GHGs 安定化濃度を意味する)は、シナリ

^{VII} 地球温暖化対策は、社会経済活動から排出される CO2 等の温室効果ガスを削減し、大気中の温室効果ガス濃度の上昇を抑えて、温暖化の進行を食い止めるための緩和措置と、我々の生活・行動様式の変更や防災投資の増加といった自然・社会システムの調節を通じて温暖化による悪影響を軽減する適応措置に大別することができる。なお、地球環境問題を取り扱う分野においては、Mitigation および Adaptation を何れも緩和策および適応策と訳している場合があるものの、これらは本稿における表現と同義である。

オに大きく左右されるものとする。このとき、代替案とシナリオの組み合わせからなる利得表(Pay-Off Matrix)を表-4に示す。ここで、 w_{ij} ($i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$)は満足度指数を示し、例えば、 w_{ij} として Nakajima et.al.(2008)のシミュレーション結果から得られる社会的純便益(Social Net Benefit)を利得(Gain)として用いることが考えられる。なお、表-4における数値例は、アドホックなものであり、例示したシナリオは、あくまで抽象化、かつ、単純化されたものであることに注意されたい。

表-4 ペイオフ・マトリックス(w_{ij} ($m=4, n=4$))の例

GHGs 安定化 濃度代替案 i	シナリオ j			
	シナリオ I	シナリオ II	シナリオ III	シナリオ IV
	適応策有り		適応策無し	
	先進国の厚生重視	途上国の厚生重視	先進国の厚生重視	途上国の厚生重視
代替案 A (a_1)	$w_{11} = 40$	$w_{12} = 40$	$w_{13} = 20$	$w_{14} = 50$
代替案 B (a_2)	$w_{21} = 35$	$w_{22} = 35$	$w_{23} = 35$	$w_{24} = 35$
代替案 C (a_3)	$w_{31} = 30$	$w_{32} = 70$	$w_{33} = 20$	$w_{34} = 20$
代替案 D (a_4)	$w_{41} = 30$	$w_{42} = 60$	$w_{43} = 20$	$w_{44} = 30$

以下では、このような不確実性下における意思決定基準を概説する。

(1) ラプラス基準

ラプラス基準(Laplace Principle)とは、各シナリオが発生する確率を等確率と考え、期待値を最大にする代替案を選択するというものであり、式(1)で表現される。これは、シナリオの何れかが、他より大きい(或いは、小さい)確率を有するという十分な理由が無いときには、全てのシナリオは同じ確率で発生するという仮定からなる(不十分理由の原則)。しかしながら、ラプラス基準は、意思決定者が勝手な確率分布を想定するという問題点を有している。表-4の数値例では、ラプラス基準は $W_L(a_1) = 37.5$, $W_L(a_2) = 35$, $W_L(a_3) = 35$, $W_L(a_4) = 35$ となり、代替案 A が採択されることになる。

$$W_L \rightarrow \text{Max.} \quad \text{s.t.} \quad W_L(a_i) = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}}{n} \quad (1)$$

(2) マキシミン基準(マックスミニ, ワルド)基準

マキシミン基準(Max-Min Principle)とは、最も悲観的な立場に立った基準であり、この場合には、シナリオは代替案の選択に対してその結果が最悪となるような状態となることを意味しており、式(2)で表現される。また、利得が負値(損害や被害)の場合には、最悪の中で最善の結果を求めるという意味で、ミニマックス(Min-Max)基準となる。逆に、最も楽観的な立場に立った基準としてマキシマックス(サベージ)基準(Max-Max Principle)があり、式(3)で表現される。しかしながら、マキシミン基準およびマキシマックス基準は、各代替案に対して、たった一つの最悪値、或いは、最良値しか考慮されないことが問題点である。表-4の数値例では、マキシミン基準は $W_w(a_1) = 20$, $W_w(a_2) = 35$, $W_w(a_3) = 20$, $W_w(a_4) = 20$ となり、代替案 B が採択されることになる。一方、マキシマックス基準では、 $W_w(a_1) = 50$, $W_w(a_2) = 35$, $W_w(a_3) = 70$, $W_w(a_4) = 60$ となり、代替案 C が採択されることになる。

$$W_w \rightarrow \text{Max. s.t. } W_w(a_i) = \text{Min. } w_{ij} \quad (2)$$

$$W_w \rightarrow \text{Max. s.t. } W_w(a_i) = \text{Max. } w_{ij} \quad (3)$$

(3) フルビッツ(ハービッツ)基準

フルビッツ基準(Hurwicz Principle)とは、楽観度を示すパラメータ $\alpha (0 \leq \alpha \leq 1)$ を用いて悲観的立場 ($\alpha = 0$) と楽観的立場 ($\alpha = 1$) にウェイトを付けた基準であり、式(4)で表現される。しかしながら、 α は恣意的に決定せざるを得ない、或いは、その根拠が無いことが問題点である。表-4の数値例では、フルビッツ基準は $W_H(a_1) = 30\alpha + 20$, $W_H(a_2) = 35$, $W_H(a_3) = 50\alpha + 20$, $W_H(a_4) = 40\alpha + 20$ となり、 $\alpha > 0.3$ であれば代替案Cが採択されることになる。

$$W_H \rightarrow \text{Max. s.t. } W_H(a_i) = \alpha \text{Max. } w_{ij} + (1 - \alpha) \text{Min. } w_{ij} \quad (4)$$

(4) ミニマックス損失基準

ミニマックス損失基準(Min-Max Regret Principle)とは、式(5)で表現される。ここで、 v_{ij} は機会損失(Opportunity Loss)を意味し、もし、あるシナリオの状態が真(最も利得が高いシナリオ)であることを知っていれば選択した利得(得られる利得)を、知らなかったために別の選択をしたことによって生じる損失を意味する。しかしながら、ミニマックス損失基準は、機会損失の値が他の代替案の利得に依存することから、新たな代替案を考慮すると代替案の優劣順序が変化することが問題点であろう。表-4の例では、表-5のような損失表が得られ、 $W_S(a_1) = 30$, $W_S(a_2) = 35$, $W_S(a_3) = 30$, $W_S(a_4) = 20$ となり、代替案Dが採択されることになる。

$$W_S \rightarrow \text{Min. s.t. } W_S(a_i) = \text{Max. } v_{ij}, v_{ij} = \text{Max. } w_{ij} - w_{ij} \quad (5)$$

表-5 損失表

シナリオ j GHGs 安定化 濃度代替案 i	シナリオ I	シナリオ II	シナリオ III	シナリオ IV
	適応策有り		適応策無し	
	先進国の厚生重視	途上国の厚生重視	先進国の厚生重視	途上国の厚生重視
代替案 A (a_1)	$v_{11} = 0$	$v_{12} = 30$	$v_{13} = 15$	$v_{14} = 0$
代替案 B (a_2)	$v_{21} = 5$	$v_{22} = 35$	$v_{23} = 0$	$v_{24} = 15$
代替案 C (a_3)	$v_{31} = 10$	$v_{32} = 0$	$v_{33} = 15$	$v_{34} = 30$
代替案 D (a_4)	$v_{41} = 10$	$v_{42} = 10$	$v_{43} = 15$	$v_{44} = 20$

5. おわりに：温暖化の危険な水準の意思決定

本稿では、不確実性下の意思決定の考え方として予防原則が世界の潮流であることを指摘し、また、いくつかの意思決定基準を概説した。ここで重要なことは、意思決定基準を選ぶための決定原理は存在しないことである。したがって、意思決定基準を選ぶためには、各決定基準が立脚している視点のうち、最も適当なものを選択するか、各決定基準の有する性質を検討し、直面している意思決定問題

の状況に最も相応しい基準を選択する以外には無い。本稿が対象としている温暖化の危険な水準を設定するための GHGs 安定化濃度を決定するためには、不確実性に加えて温暖化が有する不可逆性、越境性・蓄積性および非選択性を有することを考慮すれば、予防原則を前提とした意思決定基準を選択しなければならないことは言うまでもない。

なお、現在では、基準の恣意性および利得の定義の曖昧さ等の問題から、事前確率として主観確率 (Subjective Probability) を積極的に採用し、さらに、情報の獲得により逐次修正を行うというベイジアン意思決定理論 (Bayesian Decision Theory) の研究蓄積が顕著である。

【謝辞】

本稿は、森杉壽芳を研究代表者(研究課題：地球環境政策オプション評価のための環境・資源統合評価モデル開発に関する研究)とする地球環境研究総合推進費戦略研究 S-4(戦略研究課題：温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究)の助成を得たことを付記し、深甚の謝意を表する次第である。なお、本稿における誤りの全ては筆者らに帰することは言うまでもない。

【参考文献】

Ciriacy-Wuntrap(1962): Conservation Economics, Second Edition, California University Press.

European Environmental Agency(2002): The Precautionary Principle in 20th Century: Late Lessons from Early Warning, Earthscan.

環境庁(2000): 環境基本計画: 環境の世紀への道しるべ。

気象庁・環境省・経済産業省監修(2002): IPCC 地球温暖化第3次レポート, 中央法規出版, pp.1-289.

Nakajima, k, Y.Hayashiyama and H.Morisugi(2008): Evaluation of Possibilities of Climate Stabilization Policy considering Different Discount Rates: Simulation Analysis using the Modified RICE Model, Environmental Economics and Policy Studies.(Submitted)

Neuayer, N.(2003): Weak Versus Strong Sustainability: Exploring the Limits of Two Opposing Paradigms, Second Edition, Edward Elgar.