

## 日経BP 山口光恒の『地球温暖化 日本の戦略』 連載第 10 回

### 費用便益分析と「スターン・レビュー」【前編】

<http://premium.nikkeibp.co.jp/em/column/yamaguchi/21/index.shtml>

### 「究極目標」をどう定める？費用便益分析の効果と限界

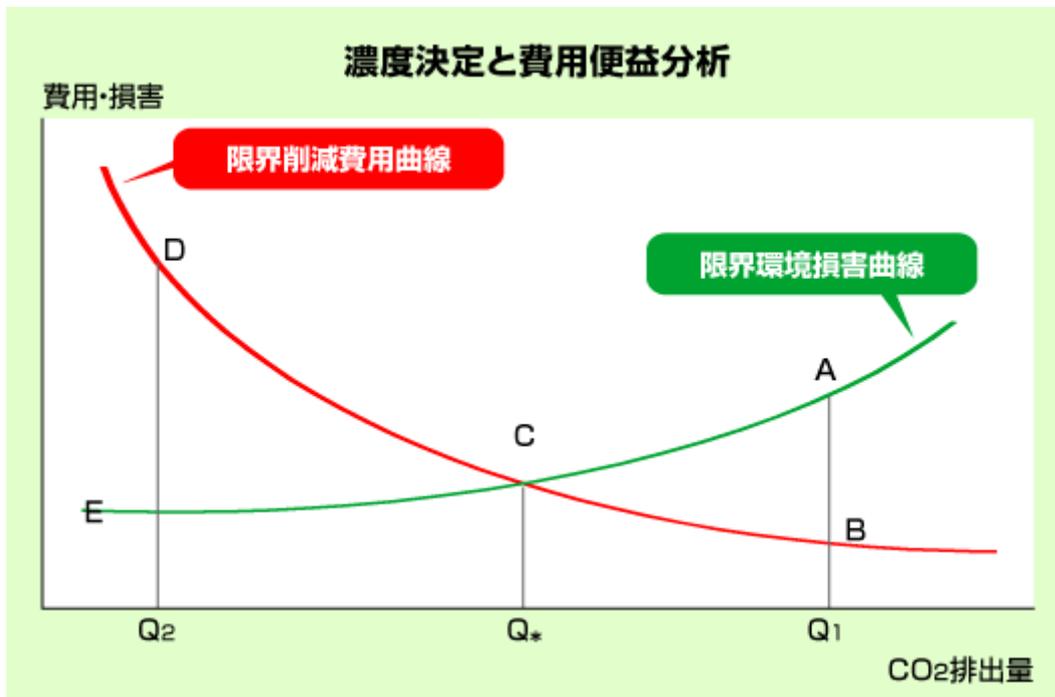
2008年2月18日(月)公開

#### 社会にとって望ましい「最適」削減水準とは

地球温暖化に取り組むうえで最大の問題は、どのような“究極目標”をめざして対策を講じるかという国際的合意がないことである。究極目標の合意を得るための一つの考え方として、今回は費用便益分析について論じる。そして次回では、2006年以来、世界中で高い関心を呼んでいる世界銀行の元チーフ・エコノミスト、ニコラス・スターン博士の『スターン・レビュー』の信頼性を検討する。

まず、費用便益分析について簡単におさらいしておこう。ある政策を導入する「費用(cost)」とそれによる「便益(benefit)」を比べ、もし費用が便益を上回れば実施を差し控え、逆に便益が費用を上回れば実施する。もう一つ、どこまで政策を実施するのが最適かという問題もある。大気中への二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出は少なければ少ないほどよいが、これをゼロにするには費用がかかり過ぎる。では、どの程度削減するのが望ましいのだろうか。簡単な図を使って説明しよう。

#### ■コストと効果(便益)から見た理想的なCO<sub>2</sub>削減量



図の横軸はCO<sub>2</sub>排出量、縦軸は費用・損害(金銭表示)である。CO<sub>2</sub>排出がQ<sub>2</sub>からQ<sub>1</sub>方向に増加するにつれて、CO<sub>2</sub>の追加的排出量1t当たりの環境損害(限界環境損害)は逓増する。この状態は、限界環境損害曲線によって表される。他方、何らかの対策を講じてCO<sub>2</sub>排出をQ<sub>1</sub>からQ<sub>2</sub>方向に追加的に1t削減して、環境損害を軽減するための費用(限界削減費用)もまた削減の進行と共に逓増する。これは図で、限界削減費用曲線として描かれている。

仮に現状のCO<sub>2</sub>排出量がQ<sub>1</sub>だと、ここから追加的に1t削減する費用はBQ<sub>1</sub>であるのに対し、それによって回避される環境損害(つまり便益)はAQ<sub>1</sub>で、便益が費用を上回るので排出量を削減すべきである。この状況はQ<sub>1</sub>までは当てはまるが、Q<sub>1</sub>よりさらに削減する場合には、それによって得られる便益を削減費用が上回ってしまう。例えば、Q<sub>2</sub>まで排出量を削減した場合、1t削減の追加的費用DQ<sub>2</sub>が、それによって得られる追加的便益EQ<sub>2</sub>を上回る。したがって、Q<sub>1</sub>まで削減するのが最適である。つまり、CO<sub>2</sub>排出を削減すればするほど環境損害を軽減できるが、それとともに費用が逓増する。両者のバランスを考えると、限界削減費用と限界損害(限界便益)が等しくなる点まで削減するのが社会全体として望ましい。これが費用便益分析に基づく「最適」削減水準である。

## 哲学論争の様相帯びる割引率問題

費用便益分析を使って、本格的にあるべき温暖化政策を検討した代表的学者は、エール大学のウィリアム・ノードハウス(William D. Nordhaus)教授である。以下、その著書『The Economics of Climate Change, 1994』(邦訳名『地球温暖化の経済学』室田泰弘他訳、東洋経済新報社)にしたがって内容を紹介しよう。

同書でノードハウスは「DICEモデル」という、経済と気候モデルを統合した壮大なモデルを展開している。基本的な考え方は、「ラムゼーモデル」といわれる最適経済成長モデルだ。無限の時間軸のなかで、現在、消費をするか、あるいはその一部を投資(貯蓄)することで将来の消費に回すかどうか、という選択肢を設定する。そして、現在から将来にわたるすべての時点の消費効用の現在価値を最大化するようにすべてが決まる。

「DICEモデル」では、一般の投資に相当するのが温室効果ガス(GHG)排出削減投資で、これにより、将来の消費の悪化(環境損害)を防ぐ仕組みである。モデルの目的関数は、社会全体の消費効用(1人当たり消費に世界人口を乗じた総消費に伴う効用)の最大化である。つまり、政策の目的として、人々の消費効用(生活水準)の向上を掲げる。さらに、温暖化は長期の問題であるため、現代の消費効用の向上だけでは不十分である。

したがって、10年後、50年後……に、消費と排出削減投資をどのように割り振っていけば、その時々々の消費効用の現在価値の総計を最大化することができるかとの観点から、「最適」な削減水準を割り出す。

将来の消費効用を現在時点での価値で表すには、「割引率(純時間選好割引率)」という概念が必要となる。これは、まったく所得が同じであっても、将来世代の同額の消費効用の現在価値は、現在世代のそれよりも割り引くべきだという、現実の人々の行動を観察した結果から生まれた考え方である。ノードハウスは、現実の経済との整合性から、これを3%とした。実は、温暖化のように長期の問題を扱う場合、この割引率が意思決定に大きな役割を果たす。例えば、現在のCO<sub>2</sub>排出量を追加的に1単位削減する費用が1万円だとし、これにより100年後に10万円の追加的損害を防ぐことができる(10万円の限界便益)とした場合、割引率が3%なら100年後の10万円の便益の割引現在価値はたったの5000円であるのに対し、1%なら約3万7000円、0.1%なら約9万円である。したがって、割引率3%なら費用が便益を上回り、対策を見合わせるべきとなるが、1%(および0.1%)なら便益が大幅に費用を上回り、対策実施となる。

上記のとおり、前提とする割引率によって結論が逆転することもあり、経済学者の間で論争の大きな種になっている。ノードハウスはこれを3%としているが、なかには米国の経済学者、ウィリアム・クライン(William R. Cline)のように、「現実の経済との整合性ではなく、道徳的見地から割引率はゼロであるべき」との主張もある。後編で紹介する『スターン・レビュー』では、ほとんどゼロに近い0.1%の割引率を用いている。この問題は哲学論争の様相を帯びており、ここではこれ以上深入りしない。

## 困難な損害額の計算

ノードハウスは、世代を通じた消費効用最大化を求めるために、経済活動、および気候の変化とその結果としての損害、そして削減費用をそれぞれ数式で表している。例えば、気候モデルではGHG排出量、GHG濃度、放射強制力、気温上昇、それに応じた損害、GHG排出削減費用の式を導出し、各種大気循環モデルや歴史的事実を照らしてこれを検証し、最後にこれらすべてを満たす解を求めている。この過程で注目点は、気候感度(CO<sub>2</sub> 倍増時の気温上昇幅)として3°Cを採用したこと、その場合の(世界全体の)損害を(特に途上国のデータ不足のため)米国のデータを適用して1.33%のGDP(国内総生産)損失としたこと、GHG排出削減費用を削減率の関数としたことなどである。

上記のうち、最も注意が必要なのは、損害額の計算である。既述のとおり、米国の試算を若干修正のうえで世界に適用したことに加え、損害額の計算は「農業」「沿岸活動」「エネルギー産業」

「その他」の4部門で行っており、「その他」には「農業」など3部門以外のすべての市場損害と、エコシステムへの悪影響などの非市場損害を含むとしている。データ不足のなかでやむを得ないとはいえ、大雑把な感は否めない。この点は、ノードハウス自身も、読者に注意を呼びかけている。また、前提として先進国の1ドルの損害と途上国のそれを等価値としている点も見逃せない。

このようなモデルを用いて、ノードハウスは温暖化対策の最適政策(限界費用と限界便益が等しくなる政策)を求めるとともに、排出量を1990年水準から2割削減した水準で安定化するケース、同じく1990年水準で固定化するケース、気温上昇幅を1.5°C以内で安定化するケースなど6つのケースを分析した。

これによると、最適政策を採用した場合の消費の現在価値は、特段の対策を採らなかった場合(以下BAU)に比べ2710億ドルのプラスとなるが、それ以外の政策はBAUに比べてマイナスとなった。例えば、世界全体の排出量を1990年水準で安定化する政策や気温上昇幅を1.5°C以内で安定化させる政策は、それぞれBAU対比で12兆5000億ドル、41兆ドルのマイナスとなり、いずれも対策過度と評価されている。つまり、対策の費用がそれによる便益を大きく上回ると計算された。

しかし、この研究は著者自身も認めているとおり、損害額の算定の信頼度が低いこと、熱塩循環崩壊(IPCC第3次報告では、これにより北欧の気温は最大10°C低下するとされた)や西部南極大陸・グリーンランドの氷床崩壊(海面大幅上昇を引き起こす)など、一旦発生すると破滅的損害を引き起こし、元に戻らないような事象が除外されていることなど、重要な点で改善の余地を残すものであった。こうした諸点、および割引率に対する批判を受け、ノードハウスは2000年に、エール大学のリサーチアソシエートのボイヤー氏と組んで改訂版を著した(『Warming the World, Economic Models of Global Warming』, W.D. Nordhaus/J. Boyer, The MIT Press, 2000)。以下、この内容を概観する。

## 地域別動向を把握できる「RICEモデル」の活用

2000年の改訂版の中核を占めるのは、世界を8地域・13詳細分類に分割した「RICEモデル(Regional dynamic Integrated model of Climate and the Economy)」である。ここでも目的は、消費効用の現在価値の最大化であり、経済モデル・気候モデルとも基本的な考え方は不変であるが、重要な変更点として以下が挙げられる。

- 生産要素として従来の資本・労働に炭素エネルギーを加えたこと
- 化石燃料枯渇の可能性を考慮したこと(化石燃料の価格上昇というかたちで反映)

- 経済・エネルギー・人口のデータと将来予測を最新のものとしたこと(低成長率と脱炭素化進展でBAUのCO<sub>2</sub>排出原単位がDICEに比べ40%も低下)
- CO<sub>2</sub>以外の温室効果ガスおよび冷却効果を有するエアロゾルのデータを最新のものとしたこと(これにCO<sub>2</sub>濃度上昇率低下が相まってBAUの気温上昇(2100年)がDICEの3.4°Cから2.4°Cに低下)
- 損害見積もりに支払意思額(WTP)の概念を採り入れ、潜在的大規模損害を考慮したこと(これにより、損害見込額は増大)
- 時間選好割引率を時間と共に変化させることとしたこと(当初はDICE同様3%であるが、2100年に2.3%、2200年に1.8%に漸減)

「RICEモデル」の最大の長所は、地域別の動向を把握できる点である。これにより、先進国のみに削減義務を負わせる京都議定書の効率性の評価も可能になる。

温暖化に伴う損害は、農業、海面上昇、健康、生態系、大規模損害など7項目に分けて評価している。最も重要なのは大規模損害で、専門家へのアンケート調査に一定の安全率を掛けたうえで数値を求めている。結果は次の通りである。

■ 温暖化に伴う損害を7項目に分けて評価

地域別・セクター別損害額(2.5℃気温上昇時、GDP に対する比率)									
	合計	農業	その他 市場 損害	沿岸	健康	アメニティ	生態系	大規模損害	
								[2.5℃]	[6℃]
米国	0.45	0.06	0	0.11	0.02	-0.28	0.1	0.44	2.97
中国	0.22	-0.37	0.13	0.07	0.09	-0.26	0.05	0.52	3.51
日本	0.5	-0.46	0	0.56	0.02	-0.31	0.25	0.45	3.04
OECD ヨーロッパ	2.83	0.49	0	0.6	0.02	-0.43	0.25	1.91	13
ロシア	-0.65	-0.69	-0.37	0.09	0.02	-0.75	0.1	0.99	6.74
インド	4.93	1.08	0.4	0.09	0.69	0.3	0.1	2.27	15.41
その他 高所得国	-0.39	-0.95	-0.31	0.16	0.02	-0.35	0.1	0.94	6.39
OPEC 高所得国	1.95	0	0.91	0.06	0.23	0.24	0.05	0.46	3.14
東欧	0.71	0.46	0	0.01	0.02	-0.36	0.1	0.47	3.23
中所得国	2.44	1.13	0.41	0.04	0.32	-0.04	0.1	0.47	3.21
低・中所得国	1.81	0.04	0.29	0.09	0.32	-0.04	0.1	1.01	6.86
アフリカ	3.91	0.05	0.09	0.02	3	0.25	0.1	0.39	2.68
低所得国	2.64	0.04	0.46	0.09	0.66	0.2	0.1	1.09	7.44
世界:生産量重み付け	1.5	0.13	0.05	0.32	0.1	-0.29	0.17	1.02	6.94
世界:人口重み付け	1.88	0.17	0.23	0.12	0.56	-0.03	0.1	1.05	7.12

表中のマイナス記号は便益を表す(出典:『Warming the World, Economic Models of Global Warming』Nordhaus/Boyer 2000, p.91)

上の表から次のような興味深いことがわかる。

1. 2.5°C気温上昇に伴う世界全体の GDP 損害は 1.5%であるが、その 3分の2は大規模損害によるものであること、また、気温が6°C上昇した場合の大規模損害による GDP 損害は約7%である
2. 人口で重み付けすると、人口密集地域(途上国)での被害が大きいため損害は増大する(大規模損害が主である点是不変)
3. 地域別に見ると、特にロシアでは温暖化による便益が大きい
4. 6°C上昇した場合の大規模損害の悪影響は、モンスーンの増大によりインド、および寒冷化により西欧で特に大きい

このように、国や地域により、事情がかなり異なることがわかる。国際合意が困難な理由がここにある。

次に、政策評価の結果はどうか。「最適政策」「排出量 1990 年水準安定化」「工業化以前対比で GHG 濃度 2 倍での安定化」「気温上昇 2.5°C以内での安定化」の 4 つを取り上げて便益／費用の比率を見ると、それぞれ「3.02」「0.33」「0.50」「0.32」となり、最適政策以外は政策実施費用が便益を上回る結果となる。

著者が自ら指摘しているように、こうした計算は政策が最も効率的に実施されることを前提としていることに注意が必要である。もし、特定地域を除外する等の非効率性が混入すると、世界全体では最適な削減量でも、すぐに費用が便益を上回る事態となる。例えば、モデルでは、削減費用の安い地域で削減が進むことになっている。つまり、途上国を含むすべての国がキャップ(排出量上限値)を受け入れ、全世界規模で排出権取引が行われなければならない。これは現実問題として考えにくい。モデルの結果を見る際には、常にこうした注意が必要である。

## 費用便益分析と「スターン・レビュー」【後編】

<http://premium.nikkeibp.co.jp/em/column/yamaguchi/22/index.shtml>

### 分析内容に漂う不透明感 「政治的文書」との痛烈な批判も

2008 年 3 月 3 日(月)公開

#### スターン・レビューは信頼に足るのか？

英国政府の委託を受け、世界銀行の元チーフ・エコノミスト、ニコラス・スターン博士が中心になってとりまとめた報告書が「スターン・レビュー」である。内容を一言で言えば、次のようなものである。

「特段の対策を採らなかった場合(BAU)、温暖化による損害は最高で世界の国内総生産(GDP)の20%にも達するが、これを防ぐための費用は1%程度にとどまる。したがって、今すぐ行動を起こすべきだ」

この報告書は日本のマスコミでも大きく取り上げられ、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)報告書に匹敵する扱いを受けることもあった。たまたま筆者は、2006年11月に日本で開催されたスターン・レビューをめぐるシンポジウムにパネリストの一人として参加する機会を得たので、その時点で一通り、このレビューを読み、公開の場でスターン博士に対して何点か疑問を呈した。その後、新たな情報も公開されたので、それも用いてスターン・レビューの信頼性を検証する。

結論から言えば、この報告の信頼性は高いものではない。以下、その理由を述べる。

最初の理由として挙げられるのは、スターン・レビューは擬似費用便益分析であるということだ。スターン・レビューの読者は、GDPの20%の損害をGDPのたった1%の費用で回避できるのであれば、直ちに行動すべきだという結論の妥当性を疑わないであろう。しかし、ここに重大なカラクリがある。

費用便益分析とは、これまでの説明から明らかなとおり、対策によって回避できる損害(便益)と、対策に要する費用を比較し、前者が後者より大きい限り対策を進め、両者が等しくなる点で対策をやめることで、社会的に最適な対策の実現を目指すツールである。実はスターン・レビューには、「GDPの1%を費やすことで20%の損害すべてを回避できる」とは、どこにも書いていない。20%とはBAUシナリオの場合の損害額であって、1%の費用で回避できる損害(便益)ではない。したがって、20%と1%を比較し、後者(費用)が便益よりも低いので対策を行うべきとの結論は導けない。この点は、マスコミをはじめとして、誤った報道が多かったので注意が必要である。

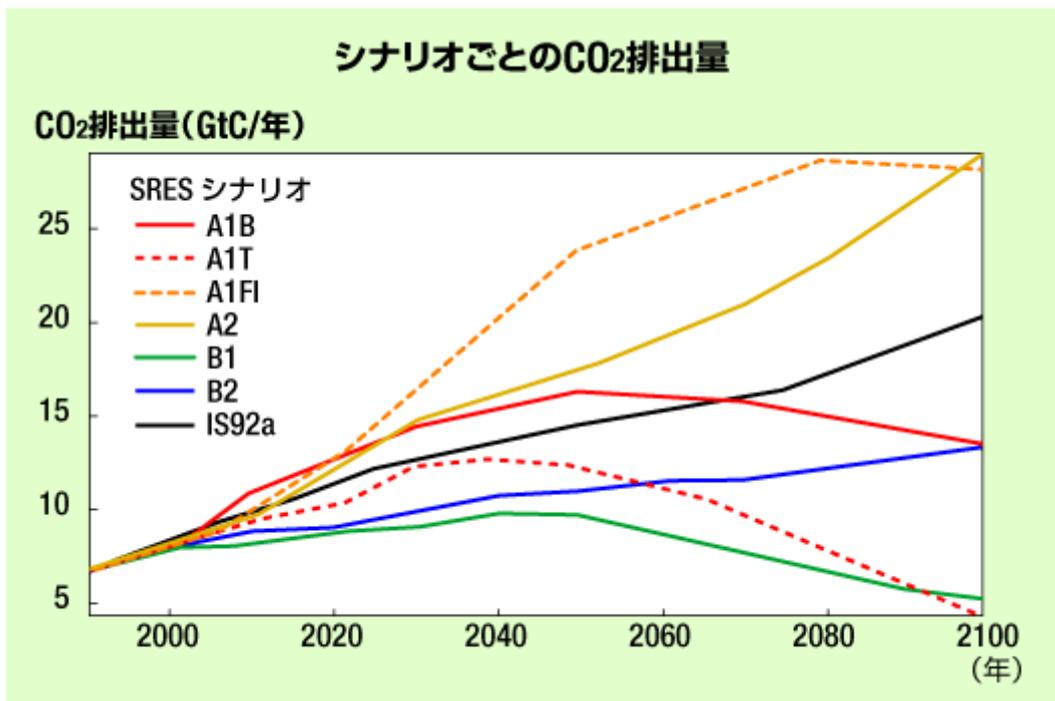
この点に限らないが、スターン・レビューは、前編で解説したエール大学のウィリアム・ノードハウスの分析に比べ透明性が著しく欠けている。その分、批判も受けにくくなっているという点もここで挙げておきたい。

## 「政治的文書」と指摘される理由

次の理由として、読者は驚くかもしれないが、損害と費用を計算する前提が異なるという点がある。損害の計算はCO<sub>2</sub>排出量の伸びが非常に高い「A2シナリオ」をBAUとしているのに対し、費用の計算は排出量が中位の「B2シナリオ」に近いシナリオに拠っているのである。つまり、対策を採らない場合の損害はより大きく、対策費用はより小さく表されるよう作用する。これだけで、この報告の信頼性には重大な疑義が生じる。

しかも、費用計算の BAU シナリオについてはどこにも記述がなく、一般の読者にはわからない構造になっている。スターン・レビューの費用計算には、世界のモデル専門家が協力したが、これに協力した日本の研究機関では、B2 シナリオに近いシナリオの下でコストの試算を求められた。このことから、コストの計算は A2 シナリオではないことが判明したのである。このあたりも、スターン・レビューに透明性が欠如している一つの例である。

#### ■レビューは損害と費用を計算する前提が異なる



IPCC 排出シナリオに関する特別報告書 (SRES) で示された 7 つの CO<sub>2</sub> 排出量シナリオ。損害の計算は A2 シナリオを BAU としているのに対し、費用の計算は B2 シナリオに近いシナリオに拠っている (出典: IPCC 第3次報告書)

そして、極端に低い割引率も問題と考える。すでに紹介した通り、(純時間選好)割引率をどのように設定するかは、費用便益分析の結果を左右する重大問題である。スターン・レビューでは、これを 0.1% (ほぼゼロ) とし、これを用いて損害額を GDP の 20% としている (内訳は大規模損害を含む市場損害 5%。これに非市場損害を加えると 14.4%。さらに途上国に人口で重み付けをすると 20%。ただし、こうした数字の根拠の開示はない)。割引率に対してはトル (R. Tol) やノードハウスから、痛烈な批判が出された。後日、スターン・レビューのホームページに 1.5% の割引率を適用した場合の損害が発表され、損害額は割引率 0.1% の場合と比べて 7 割も低い数値となることがわかった。

つまり、スターン・レビューは費用便益分析に基づくものではなく、ノードハウスも言うように、「政治的文書」なのである。

## ノードハウスが得た、まったく異なる結論

スターン・レビューの発表後、エール大学のノードハウス教授はこれを強く意識し、2007年6月に「DICE モデル」という、自身の著書で展開した経済と気候モデルを統合したモデルに依拠しつつ、そこからデータを一新したモデル「DICE2007」をインターネット上で公開した(The Challenge of Global Warming: Economic Models and Environmental Policy, June 7, 2007. <http://nordhaus.econ.yale.edu/>)。

このモデルは、世界12地域(国)のデータを基にしていること、割引率を1.5%にしたこと、大規模損害の見直しなどによる損害関数を上方修正したことなどの改良が加えられている。モデルを使って特段の対策を採らなかった場合(BAU)以外に15種類の政策評価を行っているが、このうち、特に読者の関心が高いと思われる政策の費用便益分析の結果は下の表の通りである。

例えば、EUの掲げる2°C以内に気温上昇を抑えるという提案や、スターン・レビューの超低割引率で求めた対策は、DICEモデルで評価すると費用が便益を上回る。

### ■削減費用と便益のバランスが重要

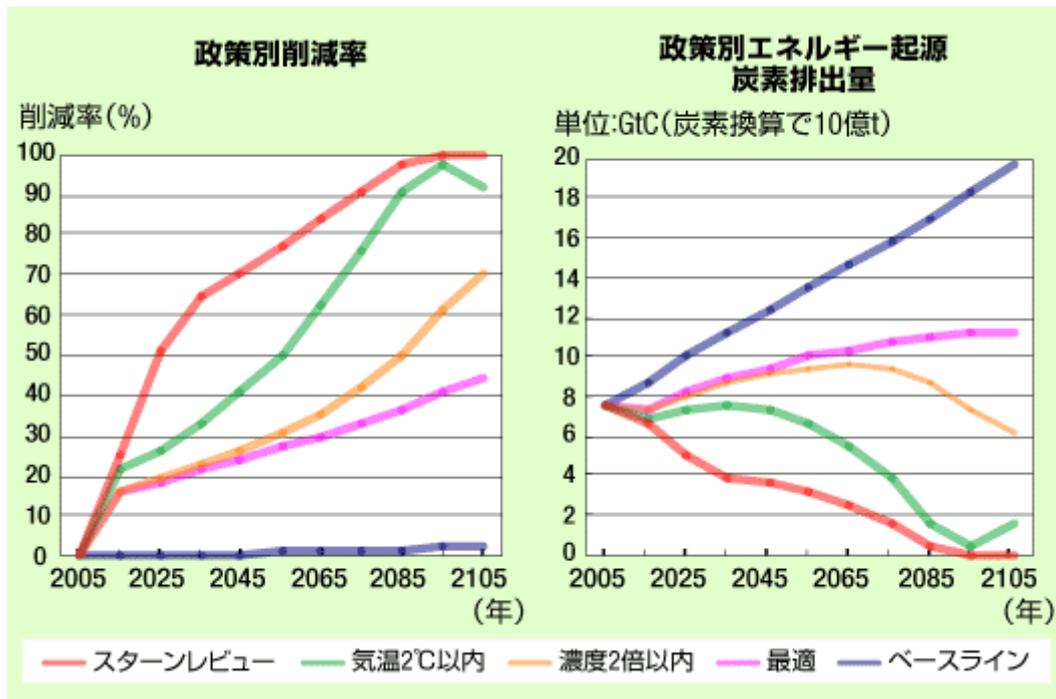
DICE 2007 モデルによる政策評価(費用便益分析)			
政策	削減費用 (兆ドル)	環境便益 (兆ドル)	便益/費用 (倍率)
BAU(対策を採らなかった場合)	0	0	—
最適政策	2.17	5.24	2.4
工業化以前より濃度2倍での安定化	3.91	6.58	1.7
1990年対比気温上昇幅2°C以内	11.26	9.46	0.8
スターンレビュー	24.5	12.19	0.5

スターン・レビューの対策は、「DICEモデル」で評価すると費用が便益を上回る(出典:DICE2007 p.153の表V-3)

次に、政策別に、排出削減割合および世界の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量の推移を示したのが下の二つのグラフである。これによると、最適シナリオの2050年の削減量はBAU対比で約25%となり、排出量は現状(2005年)に比べて約3割増、2100年には5割増である。昨年ハイリゲンダムサミットで「真剣に検討する」とされた2050年半減シナリオとは、まったく異なる。ノードハウスが、「DICEモデル」や「RICEモデル」を新しくする都度、BAUの損害額を上方修正してきたことを考える

と、この結果は示唆に富むものである。ちなみに、最適政策の下での気温上昇は 2100 年が 2.61℃、2200 年が 3.45℃であり、CO<sub>2</sub> 濃度は 2100 年が 586ppm、2200 年が 659ppm である。

### ■ 示唆に富むノードハウスが予測する最適シナリオ



左のグラフから最適シナリオの 2050 年の削減量は BAU 対比で約 25%とわかる。また右のグラフから、炭素排出量は 2005 年に比べて約 3 割増、2100 年には 5 割増であると予測。(出典: The Challenge of Global Warming: Economic Models and Environmental Policy, June 7, 2007)

ノードハウス、およびその流れをくむ学者による費用便益分析の結果は、上記と大同小異であり、経済的観点だけでは、早期の大幅な排出削減は望ましくないとの結果となる。しかし、米国の経済学者であるクラインのように、同様の手法を用いながら早急な対策が必要との結論を導いている学者もいる。同氏はノードハウスの「DICE モデル」を基に、将来の消費効用を現在時点での価値で表す「純時間選好割引率」をゼロとすることで、まったく異なる結論を導いた。

こうしたことから明らかなように、費用便益分析でどこまで対策を進めるべきかを検討する際には、純時間選好割引率が決定的な役割を果たす。しかし、現実の経済の行動から割引率を考えるノードハウスのような考え方と、将来世代の効用を現代世代が割り引くことは倫理的に許せないとするクラインなどの主張の間には、妥協の余地がない世界観の相違がある。さらに、この分析が成立する前提として環境損害の金銭価値での評価が可能でなければならないが、これが困難

であることは直感的にも理解できる。

## 限界はあるが費用便益分析は欠かせない

究極的に温暖化対策は、(限界)対策費用とそれによって回避できる(限界)便益の割引現在価値が等しいところをめざすのが望ましい。これが、費用便益分析の提供する最適水準である。しかし、現実には、費用便益分析のみで物事が決まることはない。スウェーデンの経済学者アザー(C. Azar)は、その理由を次の通り挙げている。筆者も同感である。

第一に環境損害の金銭評価が極めて困難であること(金銭評価ができなければ、そもそも費用便益分析は成り立たない)。第二に「熱塩循環」崩壊のような不可逆かつ大規模な損害をモデルに組み込むことが難しいこと。第三に世界全体としては最適な状態が得られたとしても、それにより状況が悪くなる地域や人々の利害を反映できないという衡平性の問題。そして第四として、割引率についての合意がないことである。

以上から、現状では、安定化する濃度別に、それに応じた気温上昇と損害、それに当該濃度で安定化するための費用を併記した上で、効率性だけでなく衡平性などの面から総合的に勘案し、政治判断で世界がめざすべき濃度を定めるのが次善の策である。

とはいうものの、有限な世界の資源を温暖化やエネルギー安全保障、貧困、病気、飢餓などの地球規模の問題に効率的に配分するには、やはり費用便益分析の観点は欠かせない。この点については、別途論じることとしたい。