

## 多属性効用関数の環境代替案評価への適用

岐阜大学工学部 学生員○伊藤裕之

岐阜県庁 正会員 黒木雅之

岐阜大学工学部 正会員 東海明宏

岐阜大学流域環境研究センター 正会員 湯浅 晶

## 1. はじめに

気候変動がもたらす環境への影響については、ICAM(Integrated Climate Assessment Model)<sup>1)</sup>をはじめとしたいくつかの研究グループで取り組まれている。本研究では、ICAMからの計算結果を用い、モデル評価者として、経済重視の評価者1、環境重視の評価者2を仮定し、その2者の選好特性をリスク回避度係数を用いて表現し、スケール定数(単属性効用関数の重み係数)の設定上の条件と代替案の選択の関係について考察する。

## 2. 研究の枠組み

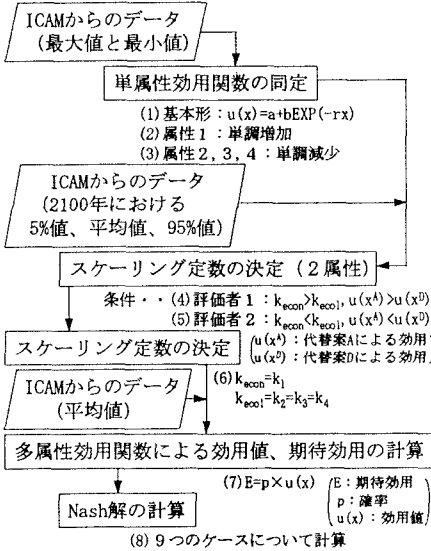


図1 計算の流れ

2.1. 単属性効用関数の決定<sup>2)</sup>

表1に示すようなICAMのデータから4つの属性毎に最大値と最小値を抽出し、図1中の式(1)を用いて、単属性効用関数を決定する。その際に、計算の都合上、属性3以外の全てのデータは最小値で割った値を用いている。

$r$ は、リスク回避度係数と呼ばれ、評価者のリスク(不確実性)を嫌う度合いを表し(表2参照)本研究では、 $r=1,0,1$ に設定して計算を行った。

## 2.2. スケール定数の決定

表1のように属性を2つに分類し、それらに対

応するスケール定数を  $k_{econ}$ 、 $k_{eool}$  とした。また、ICAMのデータは確率密度関数で与えられるため、基準年として2100年における5%値、平均値、95%値を抽出し、図1中の式(4)、(5)をもとにスケール定数を決定した。

次に図1中の式(6)のように  $k_1, k_2, k_3, k_4$  を決定した。ただし、 $k$ の添え字は属性番号に対応する。

## 2.3. 多属性効用関数による効用値、期待効用の計算

ICAMのデータから平均値を用い、2.2.で決定したスケール定数の中から代表値として  $k_1$  と  $k_2, k_3, k_4$  の和の比が最大、最小、中間の場合を抽出した。そして、それぞれの代表値に対して式(9)、(10)に示される多属性効用関数を用いて、評価者1、評価者2の効用値を計算した。

さらに、結果の不確実性を考慮するために、図1中の式(7)のように効用値に確率を乗じ、期待効用とした。本研究では、ICAMのデータから平均値を用いたので確率  $p=0.5$  を用いた。

$$\sum k_i \neq 1 \text{ のとき} \quad ku(x_1, \dots, x_n) + 1 = \frac{1}{\sum k_i} \left[ \sum k_i u_i(x_i) + 1 \right] \quad \dots\dots(9)$$

$$\sum k_i = 1 \text{ のとき} \quad u(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n k_i u_i(x_i) \quad \dots\dots(10)$$

$u(x_1, \dots, x_n)$  : 多属性効用関数  $x_i$  : 属性  $i$

$k_i$  : スケール定数  $k$  : 正規化定数

$u_i(x_i)$  : 属性  $i$  の単属性効用関数

2.4. Nash 解の計算<sup>3)</sup>

2.3.で示したスケール定数の3つの代表値から評価者の経済、または環境を重視する程度を表現し、この態度の違いから表3のような9つのケースを設定した。そして、式(12)を満たす代替案のうち、目的関数が最大となるものが式(11)に表されるNash解となる。

$$\text{Max} \left[ \prod_{i=1}^2 [u_i(x) - u_i(x')] \right] \quad \dots\dots(11)$$

$$\text{制約条件: } u_1(x) > u_1(x'), \quad u_2(x) > u_2(x') \quad \dots\dots(12)$$

$u_i$  : 主体  $i$  の効用関数  $x$  : 代替案の属性値

$i$  : 評価者  $x'$  : 基準となる代替案の属性値

## 3. 事例分析

図2は、 $r=0$ 、ICAMのデータから平均値を用いたスケール定数の制約条件である。これは、図1中の式(4)、(5)、(6)の条件を満たしている。

図3は、 $r=1,0,1$  それぞれの場合にICAMのデータから、5%値、平均値、95%値を用いたスケール

リング定数の制約条件を表している。スケーリング定数の範囲は、評価者2では比較的広い。しかし、評価者1では $r$ を用いるインパクトのデータの種類に大きく左右される。特に $r=1$ 、95%値の場合と $r=-1$ 、5%値の場合は評価者1に対するスケーリング定数の範囲は非常に限られていることがわかる。

表4は、気候変動に対して検討されている4つの代替案の内容を示している。これ以降 $r=0$ について、1975年から2100年までの間、4つの代替案を2人の評価者がどのような状況で選択しているかを計算した。

図4、5はケース1、9の結果を表している。ケース1では、Nash解は代替案Aのみである。それに対して、ケース9では2070年まで代替案A、それ以降、代替案Dが選択されている。つまり、ケース1では両者の主張が強いために、「対策なし」という代替案が選択され、2085年には合意可能な代替案が無くなってしまふのである。逆にケース9では両者の主張が弱いために2075年から最も規制の厳しい代替案Dが選択されるのである。このように図4、5の結果から、選択される代替案は評価者の経済、環境を重視する程度により変化することがわかる。

#### 4. おわりに

Nash解の計算は $r=0$ について計算を行った。今後は、リスク回避度係数による結果の不確実性に対する評価者の態度が、Nash解にどう影響を及ぼすのかを知るために、 $r=-1,1$ についても検討する。

表1 代替案を評価するための属性と対応するICAMからのデータ

| 属性         | 属性に対応するICAMのデータ             |
|------------|-----------------------------|
| 1 経済的な影響   | GDP(\$)                     |
| 2 社会的な影響   | 平均気温の上昇(°C)                 |
| 3 地球物理的な影響 | 平均海面の上昇(m)                  |
| 4 生態系の影響   | 陸地の消滅した面積(km <sup>2</sup> ) |

\* 上段：経済的影響、下段：環境的影響

表2 リスク回避度係数と評価者の態度

|         |        |                                   |
|---------|--------|-----------------------------------|
| $r > 0$ | リスク回避型 | 確実に期待値分を受け取る方を好む態度                |
| $r = 0$ | リスク中立型 | 不確実な結果とその期待値を常に同等に感じる態度           |
| $r < 0$ | リスク志向型 | 確実に期待値分を受け取るよりはそれを上回る可能性のある方を好む態度 |

表3 Nash解の計算ケース

| 評価者2 | 主張強                          | 主張中  | 主張弱                          |
|------|------------------------------|------|------------------------------|
| 評価者1 | $\text{Min}(k_i/\Sigma k_i)$ |      | $\text{Max}(k_i/\Sigma k_i)$ |
| 主張強  | ケース1                         | ケース2 | ケース3                         |
| 主張中  | ケース4                         | ケース5 | ケース6                         |
| 主張弱  | ケース7                         | ケース8 | ケース9                         |

表4 代替案の内容

- 対策なし
- CO<sub>2</sub>の排出量を2000年のレベルに抑制
- CO<sub>2</sub>の排出量を1990年の80%に固定する
- CO<sub>2</sub>の排出量を1990年の40%に固定する

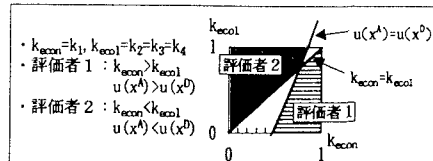


図2  $r=0$ 、平均値の場合のスケーリング定数の制約条件

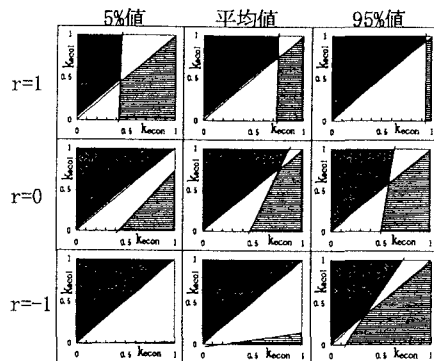


図3 スケーリング定数の制約条件

図4 ケース1：ナッシュ解と指標値、合意可能領域内の代替案数の変遷

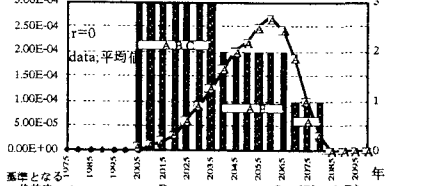
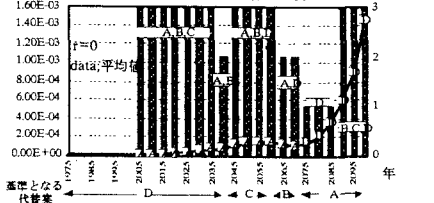


図5 ケース9：ナッシュ解と指標値、合意可能領域内の代替案数の変遷



1) Hadi Dowlatabadi and M. Granger Morgan: A model framework for integrated studies of climate problem, Energy Journal, 1993.

2) 榎本 義一、河村 和彦編：参加型システムズ・アプローチ、日刊工業新聞社、pp.205-250、1981.

3) 鈴木 光男：ゲーム理論入門、共立全書、pp.138-150、1981.