

環境影響の多属性効用関数による検討 ～気候変動総合評価モデルからの計算結果を利用して～

岐阜大学工学部 学生員○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、すでにICAM(Integrated Climate Assessment Model)¹⁾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、気候変動に対する代替案の評価をICAMの計算結果を使って、意思決定者からの限られた選好情報をもとに構築した多属性効用関数による分析を行う。また2人協力ゲームの考え方をを用いて、代替案の選択に意思決定者の選好構造がどう影響するのかを考察する。

2. 研究の枠組み

多属性効用関数は意思決定者の価値観を効用という尺度に置き換えている。式(1)、式(2)は属性間に効用独立を仮定した場合の多属性効用関数を表している。式(1)、式(2)に示されるように意思決定者の選好構造は、各属性に対する重みであるスケーリング定数、各属性の効用値を表す単属性効用関数に反映されて定式化される。本研究では、意思決定者の選好構造に関する限られた情報、各属性の結果の不確実性がどのように代替案の選択に影響を与えるのかを考察する。

$\sum k_i \neq 1$ の時

$$ku(x_1, \dots, x_n) + 1 = \prod_{i=1}^n [kk_i u_i(x_i) + 1] \quad \dots \dots \dots (1)$$

$\sum k_i = 1$ の時

$$u(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n k_i u_i(x_i) \quad \dots \dots \dots (2)$$

$u(x_1, \dots, x_n)$: 多属性効用関数

x_i : 属性 i

k_i : スケーリング定数

$u_i(x_i)$: 属性 i の単属性効用関数

k : 正規化定数

2.1 評価のための属性と使用したデータについて

気候変動に対する代替案を評価するための属性として、表1に示すような4つを取り上げた。属性1は、世界経済への影響を、属性2は、社会的な許容度、生活への影響を、属性3は、地球全体の水、大気循環への影響を表す。属性4は、地球全体の生態系への影響を表すものとした。それぞれの属性値にはICAMからの計算結果を使用した。ICAMからのデータは、確率密度関数で与えられるため、このなかから代表値として5%タイル値、平均値、95%タイル値を用いて計算を行い、各属性の影響の不確実性を考慮する。

2.2 意思決定者について

ここでは両極端な選好構造をもつ仮想的な2者(主体1、主体2)を想定した。

主体1は属性1をもっとも重視し、主体2は属性2,3,4

を属性1より重視すると設定した。この対立的な2者が協議によって代替案を選択する状況をNash Bargaining Solution(後述)によって表現する。

2.3 スケーリング定数、単属性効用関数について

スケーリング定数の設定は、2.2で述べた仮定に従って、主体1、主体2それぞれで図1に示すような各属性に対する選好順位のタイプ別に設定する。

単属性効用関数については関数形が与える影響は少ないと考えられるため、主体1、主体2ともに属性1は単調増加、属性2, 3, 4は単調減少の1次関数と仮定した。

2.4 Nash Bargaining Solution²⁾

多属性効用関数で計算された効用値を使って、主体1、主体2の選好順位タイプ別に図1に示された組み合わせのNash解を計算する。

選好順位の各タイプ別に代表値として、スケーリング定数 k_1 と k_2, k_3, k_4 の和の比がもっとも大きい場合、小さい場合をとりあげる。式(3)は、選択された代替案の効用から基準とした代替案の効用を引いたものが、両主体とも負でないことが解を持つための制約条件となることを示している。式(3)を満たす代替案の内、目的関数が最大となるものが式(4)に表されるNash解となる。

$$\begin{aligned} \text{制約条件} \quad & u_1(x) > u_1(x') \\ & u_2(x) > u_2(x') \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{Max} \prod_{i=1}^2 [u_i(x) - u_i(x')] \quad \dots \dots \dots (4)$$

u_i : 主体 i の効用関数

i : 主体

x : 代替案の属性値

x' : 基準となる代替案の属性値

3. 事例分析

表2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。

1975年から2100年までのICAMからの計算結果を使って、4つの代替案の効用値を以下に述べるような条件のもとで計算した。

3.1 意思決定者の選好情報として、属性の選好順位だけが与えられている場合

主体1、主体2それぞれに対して、2で述べたような、ICAMからの属性値、各属性に対する選好順位、単属性効用関数が与えられた場合の効用値の計算を行った。図1に示されているような選好順位の条件に適合するスケーリング定数全ての場合に対して、主体

1、主体2とも効用値の計算を行った。

図2、図3は主体1において、属性の選好順位からスケーリング定数を設定した、 k_1, k_4, k_3, k_2 である場合の効用値の変化を表している。

図2は、 k_1 の k_2, k_3, k_4 の和に対する比が、大きい場合の効用値の変化を表している。ここでは効用値が代替案A,B,C,Dともに単調に増加していく。

図3は、 k_1 の k_2, k_3, k_4 の和に対する比が小さい場合の効用値の変化を表している。ここでは効用は単調に減少していく。これは属性1の単属性効用関数のみが単調増加関数であり、属性2, 3, 4が単調減少関数であることに起因している。属性1の重みが強まるほど効用値は増加傾向となり、属性2, 3, 4が強まるほど減少傾向を示す。これは、どの選好順位の場合も違いはなかった。

3.2 意思決定者の選好情報として、属性の選好順位と代替案に対する選好が与えられている場合3)

3.1の条件に加えて、主体1、主体2がある年でのICAMの結果から、主体1は代替案Aを好み、主体2は代替案Dを好むという代替案の選好が得られたとする。これによって、その年の属性値を多属性効用関数に代入することで、主体1では式(5)が成り立ち、主体2では式(6)が成り立つ。式(5)、(6)は、式(1)、(2)とあわせてスケーリング定数に対する制約条件となる。

意思決定者の代替案の選好を取り出すためには、代替案の影響をどの年で評価するかが問題となる。どの時点の結果を基準とするかについては、意思決定者が自分たちの世代、2010年の属性値、自分たちの息子の世代、2050年の属性値、自分たちの孫の世代、2100年の属性値の結果から代替案の選好を取り出す場合の3つを仮定した。3つの場合それぞれについて、3.1と同様の効用値の計算を行う。

$$u(x_1^t, x_2^t, x_3^t, x_4^t) - u(x_1^t, x_2^t, x_3^t, x_4^t) \geq 0 \dots (5)$$

$$u(x_1^t, x_2^t, x_3^t, x_4^t) - u(x_1^t, x_2^t, x_3^t, x_4^t) \leq 0 \dots (6)$$

$u(x_1^t, x_2^t, x_3^t, x_4^t)$: 代替案 n の効用関数

x_i^t : 代替案 n の基準の年の属性 i の属性値

4. おわりに

研究では、意思決定者に関する情報が制限されている場合に効用値が算出できるモデルを提案した。属性、意思決定者に関する情報の量による効用値の変化の幅から情報に対する価値、主体の属性にたいする選好構造の違い、その出張の強さの程度が代替案の選択にどう影響を与えるのかといった点について検討を加える。

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 (国民純正産) (\$)
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 生態系への影響	陸地の消滅した面積 (km ²)

表2 代替案の内容

A. 対策なし
B. CO ₂ の排出量を2000年のレベルに抑制
C. CO ₂ の排出量を1990年の80%に固定する
D. CO ₂ の排出量を1990年の40%に固定する

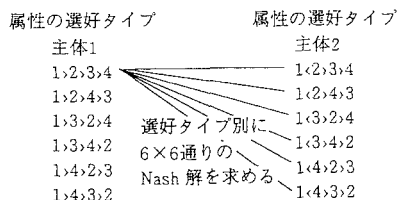


図1 各主体の属性の選好タイプ

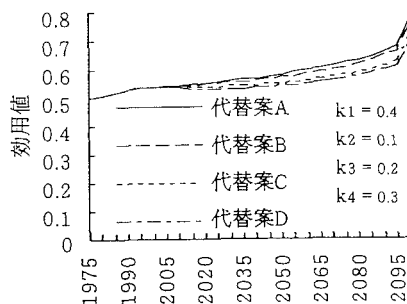


図2 主体1の効用値の変化

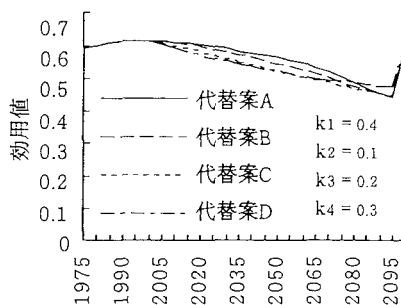


図3 主体1の効用値の変化

参考文献

- 1) Hadi Dowlatabadi and M. Granger Morgan A model framework for integrated studies of climate problem, Energy Journal, 1993
- 2) 鈴木 光男, 共立全書, ゲーム理論入門, pp 138 pp 150, 1981
- 3) Chelsea C. White . III et . A Model of Multiattribute Decisionmaking and Trade - off Weight Determination Under Uncertainty, IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, Vol. smc-14, No. 2, pp223-229, 1984