

多属性効用関数による気候変動の代替案評価に関する一考察

～ICAMからの計算結果を利用して～

岐阜県庁 正員 ○黒木雅之

岐阜大学工学部 正員 東海明宏

岐阜大学流域環境研究センター 正員 湯浅 晶

1. 本研究の目的

本研究では、気候変動に対する代表的な4つの代替案の評価を多属性効用関数を用いて評価する。それぞれの代替案毎のインパクトの不確実性、評価者の態度の不確実性にシナリオを設定して検討した。

2. 解析方法

2.1 ICAMからのデータ

気候変動がもたらす様々な影響へのインパクトはICAM(Integrated Climate Assessment Model, Ver. 2.0)からの計算結果を利用した。ICAMはカーネギーメロン大学、工学及び公共政策学科のグループによって開発されたモデルでインパクトの物理過程、社会経済への影響の伝搬過程を含むモデルである。世界を数カ所のブロックにわけて計算が行われており、本研究ではそのモデルからの世界全体で集計された計算結果を用いた。

気候変動の影響をなるべく総括的に含むよう、表-1に示す4つの属性を設定した。表-1には、属性の内容と該当するICAMからのデータを示した。ICAMは確率的シミュレーションを行っており、各計算値の累積分布関数から、代表値として、平均値、5%タイル値、95%タイル値を用いた。

表-1 属性の内容とICAMからのデータ

属性の内容	ICAMのデータ
属性1 農業、工業、商業活動への影響	国民純生産（ドル）
属性2 住環境、生活スタイル等への影響	平均気温の上昇（℃）
属性3 地球全体の水、大気循環への影響	平均海面の上昇高さ(m)
属性4 植物、生物の生態への影響	陸地の水没面積（km ² ）

2.2 代替案

地球温暖化に伴う気候変動に対して、表-2に示すような4つの代替案が提案されている¹⁾。代替案A～Dは、地球温暖化物質であるCO₂をそれぞれ異なる厳しさのレベルの規制である。

表-2 代替案の内容

代替案A	CO ₂ の排出規制を行わない場合
代替案B	2000年のCO ₂ の排出量に規制する場合
代替案C	1990年の80%にCO ₂ の排出量に規制する場合
代替案D	1990年の40%にCO ₂ の排出量を規制する場合

2.3 評価者

代替案の評価者として、CO₂の排出規制費用への見通しと、CO₂排出による環境への影響程度の見通しの相違で特徴づけられる2人の評価者をとりあげた²⁾。それぞれの評価項目において、主張強さの程度によって、楽観的、悲観的、中間的な場合を設定し

た。こうした3×3通りの意見をもつ評価者の中から、最も対立的な関係を持つと考えられるのが評価者1（経済を重視した代替案の評価を行う）と評価者2（環境を重視した評価を行う場合）である（図-1）。

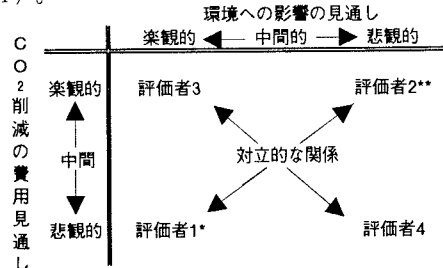


図-1 評価者の分類

2.4 多属性効用関数

多属性効用関数の同定を行う際、表-1の各属性間には、効用独立の仮定が成り立つとした。式(1)は、効用独立を仮定した多属性効用関数の一般式である。

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

$u(x_1, \dots, x_n)$: 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 の効用関数

k : 正規化定数 ($\neq 0, \sum k_i = 1, \neq 0, \sum k_i = 1$)

2.5 評価者からの選好構造の抽出

多属性効用関数におけるスケーリング定数、単属性効用関数に、評価者の意見が反映される。通常、インタビューによって、評価者の選好構造を抽出し、多属性効用関数は同定されるが、本研究では、2.3で述べた評価者の選好を次のような場合に従って決定した。

(1) スケーリング定数

a) ケース1

ケース1では、2.3で述べた評価者のシナリオに従って、属性への選好順位をあらかじめ与え、それをもとにスケーリング定数を決定した。

評価者1では、属性1を属性2、3、4よりも好むとし、評価者2では、属性2、3、4を属性1よりも好むとした。

b) ケース2

ケース2ではケース1の条件に加えて、ある年次での評価者の代替案の選好³⁾を仮定した。ある年次で、評価者1は代替案Dより代替案Aの結果を好み、評価者2は、代替案Aよりも代替案Dの結果を好むとし

た。なお、その年次として2010年、2050年、2100年の3つの場合をとりあげた。

スケーリング定数の計算では、ケース1、ケース2で定まる制約条件式に、逐次値を代入することで求めた。各ケースの条件を満たすスケーリング定数の中から、 k_1 と $(k_2+k_3+k_4)$ の比を指標とした代表値を抽出して計算を行った。代表値を「主張が強い場合」と「主張が弱い場合」、「平均的な場合」とした。

(2) 単属性効用関数

単属性効用関数形の影響は、既存の研究から結果に対して小さいと報告されている⁴⁾。そこで本研究では、第一次近似として、属性1では、GDPの増加に対し、単調増加の一次関数、属性2、3、4では、それぞれ平均気温の上昇、海面の上昇、陸地の水没面積の増加に対し、単調減少の一次関数とした。さらに両評価者の単属性効用関数は同一とした。それぞれの単属性効用関数は、各属性の最良値で1をとり、最悪値で0をとるように正規化した。

2.6 ナッシュの交渉解^{5), 6)}

代替案の評価者1、評価者2による合意可能性という側面からの評価をナッシュの交渉解を用いて行った。式(2)、式(3)は、ナッシュの交渉解の定義である。式(3)は、解を持つための制約条件を示す。制約条件は、評価者1、評価者2にとって、選択された代替案が基準となる代替案で得られる以上の効用をもたらすことである。式(3)の制約条件を満たし、式(4)であらわされる指標値が、最大になるものがナッシュの交渉解として、両者の交渉によって得られる代替案となる。

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

subject to $u_1(x) > u_1(x')$

$$u_2(x) > u_2(x') \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Obj. Value} = \prod_{i=1}^2 [u_i(x) \cdot u_i(x')] \quad \dots\dots\dots (4)$$

u_1, u_2 : 評価者それぞれの効用関数

i : 評価者

x : 代替案の属性

x' : 交渉前の属性の状態

この場合の計算は、表-3に示すスケーリング定数、属性値の組み合わせで行った。

表-3 計算パターン

	属性値 スケーリング定数	評価者2		
		楽観的 主張強い	中間的 中間的	悲観的 主張弱い
評価者1	楽観的 主張強い			①
	中間的 中間的		②	
	悲観的 主張弱い	③		

① 両者とも最も自分の主張を追求した場合

② 互いに中間値を用いた場合

③ 最も互いの態度に近寄った場合

属性値は、将来に対する見通しの違いで、「楽観的」、「中間的」、「悲観的」の3つの場合とし、95%タイル値、5%タイル値を割り付けた。

計算パターンは、評価者の意見の違いと属性値の不確実性が、交渉の結果に最大の影響を与える場合と最小の影響を与える場合を知ることを用意して設定した。

3. 結果と考察

図-2は、ケース1でのナッシュの交渉解とその指標値の変遷を示している。

評価者1と評価者2が対立的な関係のパターン1では、規制のない代替案Aのみがナッシュの交渉解として、選択された。さらに21世紀の後半では、条件を満たす解は存在しなかった。

評価者1と評価者2が歩み寄ったパターン3では、21世紀の前半では、規制のない代替案Aが選択され、21世紀の後半では、規制の厳しい代替案Dが最適解となった。これらの解の特徴はケース2でも同様に認められた。

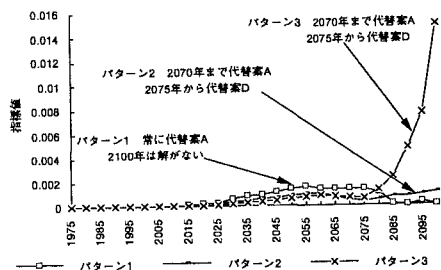


図-2 ケース1 ナッシュ解と指標値の変遷

参考文献

- 1) H. Dowlatabadi, M. Granger Morgan: A Model Framework for Integrated Studies of Climate Problem, Energy Journal, (1993).
- 2) L. Lave and H. Dowlatabadi: Climate Change -The effects of personal beliefs and scientific uncertainty, Environ. Sci. & Tech., Vol. 27, No.10, pp.1962~1972(1993).
- 3) C. C. White, III et. als.: A Model of Multiattribute Decision making and Trade-off Weight Determination Under Uncertainty, IEEE, Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.SMC-14, No.2, pp.223~229(1984).
- 4) 伊藤 学他, 「土木技術者のための確率・統計の応用」, 丸善, pp. 81~82(1988).
- 5) 鈴木 光男, 共立全書, ゲーム理論入門, pp. 138~150(1981).
- 6) J. F. Nash: The bargaining problem, Econometrica, Vol.18, pp. 155~162(1950).