

環境保全の便益を考慮した開発戦略に関する研究

(株) 日水コン 正会員 ○大石 哲司

鳥取大学工学部 正会員 多々納裕一

鳥取大学工学部 正会員 小林 潔司

1. はじめに

本研究では、危険中立的な行政主体の現時点 ($t = 1$) および将来 ($t = 2$) の 2 期間にわたる意思決定問題に着目する。行政主体は、各期において不確実性下で「開発 ($a_t = 1$)」か「環境保全 ($a_t = 0$)」かという選択に直面している。この場合、現時点において「保全」を行うという決定は、将来時点における選択の多様性や追加的情報の利用可能性を保証する。将来時点における選択の多様性を確保することの便益 (開発留保価値) と追加的情報の利用可能性を留保することの便益 (情報価値) によって「環境保全の便益」を定義する。そして、情報構造や行政主体の主観的確率分布が環境保全の便益に及ぼす影響を考察することで、環境保全の便益を考慮した開発戦略の特性を明らかにする。

2. 開発戦略

行政主体は現時点 ($t = 1$) および将来 ($t = 2$) の 2 期間に発生する純便益の現在価値を最大化するように現時点における意思決定を行うものとする。本研究では、この意思決定を開発戦略と定義する。以下では、開発戦略を取り巻く諸概念について整理する。

(1) 環境 意思決定問題に直面する行政主体をとりまく環境を、開発による影響を被る内部環境とその影響を被らない外部環境とに分離する。「 t 期の内部環境は t 期に選択される行為 a_t によって完全に規定される」と仮定する。すると、 $t+1$ 期に選択可能な行為の集合 (選択可能集合) は $G(a_t)$ となる。「開発」及び「保全」は以下の特性を有する。ただし、 $a_0 = 0$ である。

$$G(a_t) = \begin{cases} \{0, 1\} & (a_t = 0) \\ \{1\} & (a_t = 1) \end{cases} \quad (1)$$

一方、第 t 期における外部環境 s_t は、定義より行政主体によって選択された行為 a_t によって影響を受けない。本研究では外部環境 s_t を $S = \{1, \dots, m\}$ 上で定義される離散的確率変数として取り扱う。

(2) 便益、費用 各期における便益 b_t および費用 c_t は、外部環境が確定した後に定まると仮定し、それぞれ次式のように定義する。

$$b_t = b(a_t, s_t) \quad (2)$$

$$c_t = \hat{c}(a_{t-1}, a_t, s_t) \quad (3)$$

この際、 $b(\cdot)$ 及び $\hat{c}(\cdot)$ は次の仮定を満たすものとする。

仮定 1 $b(0, s_t) = 0, \hat{c}(0, 0, s_t) = 0, \forall s_t \in S$

仮定 2 $\hat{c}(0, 1, s_t) \geq \hat{c}(1, 1, s_t) \geq 0, \forall s_t \in S$

仮定 3 $b(a_{t-1}, a_t, s'_t) \geq b(a_{t-1}, a_t, s_t) \geq 0,$

$$\hat{c}(a_{t-1}, a_t, s'_t) \geq \hat{c}(a_{t-1}, a_t, s_t) \geq 0,$$

$$\forall s'_t \geq s_t \in S, \forall a_{t-1} \in G(a_{t-2}), \forall a_t \in G(a_{t-1})$$

さらに、 t 期の純便益を $nb(a_{t-1}, a_t, s_t)$ とすれば、これは次式で与えられる。

$$nb(a_{t-1}, a_t, s_t) = b(a_t, s_t) - \hat{c}(a_{t-1}, a_t, s_t) \quad (4)$$

$nb(a_{t-1}, a_t, s_t)$ は次の性質を有する。

性質 1 $nb(0, 0, s_t) = 0, \forall s_t \in S$

性質 2 $nb(1, 1, s_t) \geq nb(0, 1, s_t) \geq 0, \forall s_t \in S$

性質 3 $nb(a_{t-1}, a_t, s'_t) \geq nb(a_{t-1}, a_t, s_t) \geq 0,$

$$\forall s'_t \geq s_t \in S, \forall a_{t-1} \in G(a_{t-2}), \forall a_t \in G(a_{t-1})$$

(3) 予測 外部環境 s_t は不確実である。本研究では、行政主体は各期の外部環境の確率分布を予測するものとし、このようにして得られた各期の外部環境の確率分布 ($\pi_1(s_1), \pi_2(s_2)$) をもとに、次式で表される各期の期待純便益を算定するものとする。

$$E_s^t[nb(a_{t-1}, a_t, s_t)] = \sum_{s_t=0}^m nb(a_{t-1}, a_t, s_t) \pi_t(s_t) \quad (5)$$

(4) 伝統的な意思決定基準 行政主体の意思決定基準として通常、期待純便益の現在価値の最大化基準が用いられてきている。社会的割引率を β として、開発に伴う期待純便益の現在価値 NPV' は、

$$NPV' = E_s^1[nb(0, 1, s_1)] + \beta E_s^2[nb(1, 1, s_2)] \quad (6)$$

で与えられ、 $NPV' > 0$ ならば「開発」が、 $NPV' < 0$ ならば「保全」が時点 $t = 1$ の決定となる (NPV' の算定に際しては、 $t = 1$ において「保全」を選択した場合に生じる期待純便益の現在価値を機会費用として差し引く必要があるが、性質 1 より既にこの機会費用を反映したものとなっている)。しかしながらこの基準は、もし「保全」を採用していれば生じていたはずの上述の「環境保全の便益」を開発の機会費用として考慮していないという問題がある。

3. 環境保全の便益

(1) 選択の多様性 第 t 期での代替案集合を $A_t = \{0, 1\}$ とする。第 t 期の行為 a_t, a'_t によって定まる選択可能集合 $G(a_t)$ 及び $G(a'_t)$ が $G(a'_t) \supseteq G(a_t)$ を満たすとき、行為 a'_t は行為 a_t よりも選択の多様性に富むと定義する。さらに、 $G(a_t) = A_t$ を満たすとき、行為 a_t は「完全可逆な」行為であるといい、 $G(a_t)$ に含まれる元がただ一つである集合となるとき、行為 a_t は「完全不可逆な」行為であると定義する。式 (1) より、「開発」 ($a_t = 1$) は「完全不可逆」な行為であり、逆に「保全」 ($a_t = 0$) は、「完全可逆」な行為である。さらに、 $G(0) \supseteq G(1)$ が成り立つから、「保全」 ($a_t = 0$) は「開発」 ($a_t = 1$) よりも選択の多様性に富む。将来時点における選択の多様性を考慮することによって発生する期待純便益の変化量を $VF(a_1)$ と呼ぶ。

$$VF(a_1) = \max_{a_2 \in G(a_1)} E_s^2[nb(a_1, a_2, s_2)]$$

$$- E_s^2[nb(a_1, a_1, s_2)] \quad (7)$$

$VF(a_1)$ は、将来時点の選択の可能性が保持される a_1 を

第1期に選択したことによって生じる第2期の期待純便益の変化量である。 $VF(a_1)$ に関して以下の補題が成り立つ。

補題1 任意の a_1 に対して、 $VF(a_1) \geq 0$

本研究の「開発」及び「保全」という行為の将来時点における選択可能な行為の集合 $G(a_1)$ は式(1)で表される。したがって、 $VF(0) \geq 0, VF(1) = 0$ である。

(2) 情報構造 t 期における外部環境が s_t であるという条件のもとで t 期期首にメッセージ y を得る確率を条件付き確率 $q(y|s_t)$ で定義しよう。情報構造 I は、条件付き確率 $q(y|s_t)$ とメッセージ y の集合 Y によって $I = [Y, q]$ と定義する。行政主体が情報構造 I を有しているとき、次式にしたがって事前の確率分布 $\pi_2(s_2)$ をメッセージ y に対応した事後の確率分布 $\pi_2(s_2|y)$ へと更新することができる。

$$\pi_2(s_2|y) = \frac{q(y|s_2)\pi_2(s_2)}{\sum_{s_2 \in S} q(y|s_2)\pi_2(s_2)} \quad (8)$$

追加的情報を考慮することによって発生する期待純便益の変化量を $VI(a_1)$ と呼ぶ。

$$VI(a_1) = E_Y \left[\max_{a_2 \in G(a_1)} E_{S|Y}^2[nb(a_1, a_2, s_2)] \right] - \max_{a_2 \in G(a_1)} E_S^2[nb(a_1, a_2, s_2)] \quad (9)$$

$VI(a_1)$ は、追加的情報を利用できる a_1 を第1期に選択したことによって生じる第2期の期待純便益の変化量である。 $VI(a_1)$ に関して以下の補題が成り立つ。

補題2 任意の a_1 に対して、 $VI(a_1) \geq 0$

式(1)より、 $VF(0) \geq 0, VF(1) = 0$ である。

(3) 環境保全の便益

第1期において「保全」を選択したとき、選択の多様性を考慮することで生じる期待純便益の増加量の現在価値を「開発留保価値」 PVF として次式で表す。

$$PVF = \beta VF(0) = \beta \max_{a_2 \in G(0)} E_S^2[nb_2(0, a_2, s_2)] \quad (10)$$

第1期において「保全」を選択したとき、追加的情報を利用することで生じる期待純便益の増加量の現在価値を「情報価値」 PVI として次式で表す。

$$PVI = \beta VI(0) = \beta \{ E_Y \left[\max_{a_2 \in G(0)} E_{S|Y}^2[nb(0, a_2, s_2)] \right] - \max_{a_2 \in G(0)} E_S^2[nb(0, a_2, s_2)] \} \quad (11)$$

環境保全の便益 PV を開発留保価値 PVF と情報価値 PVI の和として以下のように表す。

$$PV = PVF + PVI = \beta E_Y \left[\max_{a_2 \in G(0)} E_{S|Y}^2[nb(0, a_2, s_2)] \right] \quad (12)$$

将来時点における選択の多様性や情報の利用可能性を考慮すれば、開発による期待純便益の現在価値 NPV は次のように修正される必要がある。

$$NPV = NPV' + \beta \{ VF(1) + VI(1) \} - \beta \{ VF(0) + VI(0) \} = NPV' - PV \quad (13)$$

(4) Bayesian 意思決定ルール Bayesian 意思決定ルールは、「環境保全の便益」を機会費用として考慮した期待純便益の現在価値 NPV の符号に基づく意思決定方法と第1期の意思決定に関する限り同等であるような逐次的な意思決定ルールである。具体的には、行政主体は次式

で表現されるような2期間の割引総期待純便益 $\hat{V}(a_1)$ が最大となるように、第1期及び第2期の行為に関する決定 $\hat{a}_1, \hat{a}_2(y)$ を定める。

$$\hat{V}(a_1) = E_S^1[nb(a_0, a_1, s_1)] + \beta E_Y \left[\max_{a_2 \in G(a_1)} E_{S|Y}^2[nb(a_1, a_2, s_2)] \right] \quad (14)$$

4. 環境保全の便益が開発戦略に与える影響

まず、情報構造が開発戦略に与える影響について考察する。開発留保価値は情報構造に影響を受けない。情報価値に関しては以下の補題が成り立つ。

補題3 2つの情報構造 $I^V = [Y^V, q^V]$ 、 $I^W = [Y^W, q^W]$ を考える。情報構造 $I^V = [Y^V, q^V]$ が $I^W = [Y^W, q^W]$ より informative であるとき次式が成り立つ。

$$VI(a_1; I^V) \geq VI(a_1; I^W) \quad (15)$$

つまり、行政主体の情報構造がより informative になれば環境保全の便益は大きくなる。図-1 は横軸に $E_S^1[nb(0, 1, s_1)]$ 、縦軸に $E_S^2[nb(0, 1, s_2)]$ をとり、第1期に選択される行為と $(E_S^1[nb(0, 1, s_1)], E_S^2[nb(0, 1, s_2)])$ との関連を示したものである。斜線部分は環境保全の便益を考慮することによって、第1期の選択が「開発」という行為から「保全」という行為に変更される領域である。すなわち行政主体の期待が大きくなれば、それに伴い環境保全の便益が大きくなる。そして、第1期に「開発」という行為を選択するためには、既存の意思決定基準よりも大きな便益を期待する必要があることがわかる。

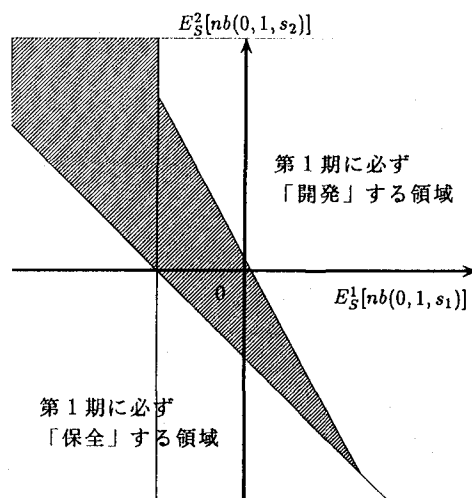


図-1 第1期に選択される行為

5. おわりに

本研究では、「環境保全の便益」を「開発留保価値」と「情報価値」の和として定義した。2期間の開発戦略の意思決定を行う際には、この「環境保全の便益」を機会費用として「開発」に伴う期待純便益の現在価値から差し引く必要がある。そして、逐次的な意思決定ルールである Bayesian 意思決定ルールを用いれば、第1期の意思決定に関する限り「環境保全の便益」を考慮して開発戦略を決定できることがわかった。