Environmental Preservation, Uncertainty, and Irreversibility

Kenneth J. Arrow
Anthony C. Fisher

(1974)
The Quarterly Journal of Economics
Vol. 88, No. 2, pp. 312 - 319

発表の構成

- 本論文の位置づけ（現時点から振り返って）

- 論点
- モデルの定義
- 定式化
- 結論

本論文の位置づけ

- 不確実性下における経済便益評価研究の１つ
- 不確実性が存在することが正味利益を減少させることを示す

- 当時環境経済学分野で開発の不可逆性（irreversibility）を考慮した戦略決定に関する研究が進む中、

  「将来における選択の可能性が留保される価値」

  を「準オプション価値」として定義した。

- のちに、「準オプション価値」＝「将来時点での選択の多様性を保証する選択肢を現時点において選択した場合に生じる情報価値」とされ、リアル・オプション理論のなかに取り入れられた。

  cf. オプションとは…option. 将来において何らかの行動をとる権利のこと。

（参考）小林潔司，横松宗太，織田澤利守（2001）サンクコストと治水経済評価：リアルオプションアプローチ. 河川技術論文集，第７巻，pp.417-422

論点：投資費用もしくは回収利益に不確実性を加味することで、投資判定基準に違いが現れるのか？

定式化の目的：

保全か開発かの投資判定基準に不確実性がどのような影響を与えるかを示す。

既往研究の保全-開発投資判定の限界：

１．不可逆性（irreversibility）だけが「開発＜保全」方針を支えている
…不可逆的な開発＝ダムの建設など

２．投資実施前の期待費用と期待利益の差分のみで「now or never」の投資判定を行っている

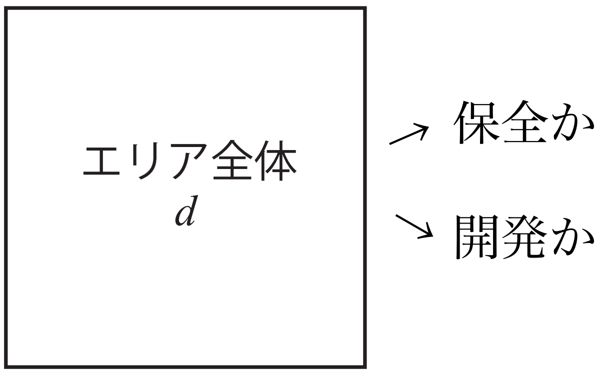
本論文のモデルの特徴：

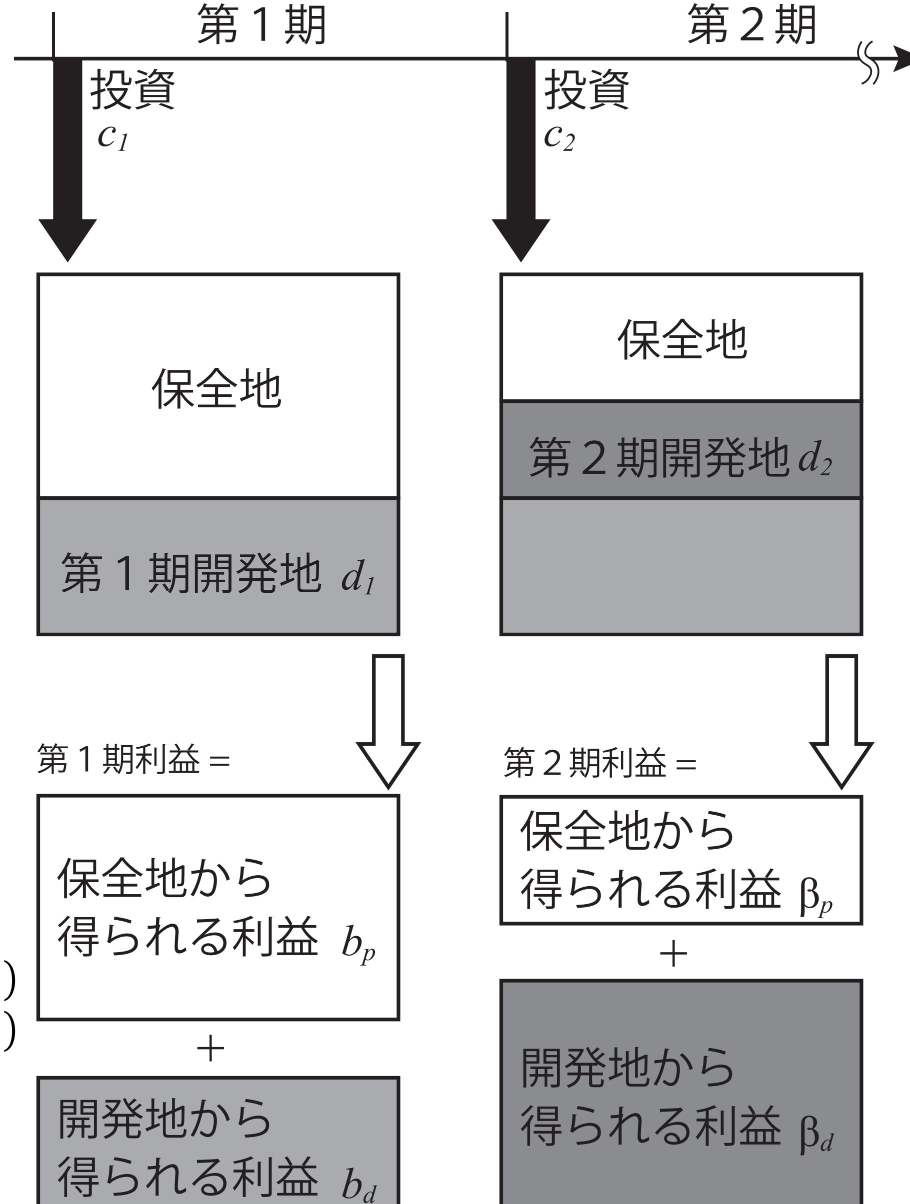
⇒１．不可逆性以外にも「開発＜保全」方針を支える要素として「準オプション価値」を検討した

⇒２．期を設け、期末に明らかとなる当該期の成果が次期首の期待費用/期待利益に影響を与える構造とした

モデルの定義

エリアdは保全されているだけで利益をもたらすほど環境的に価値のある土地とする

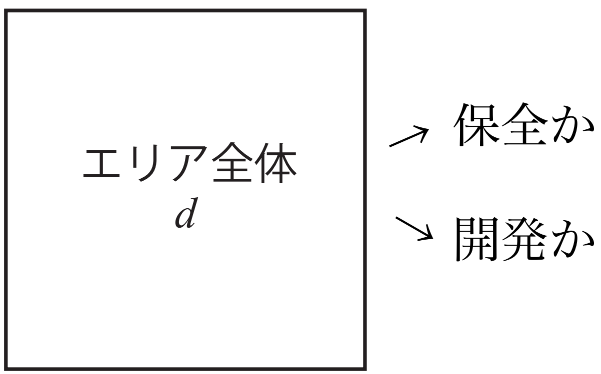


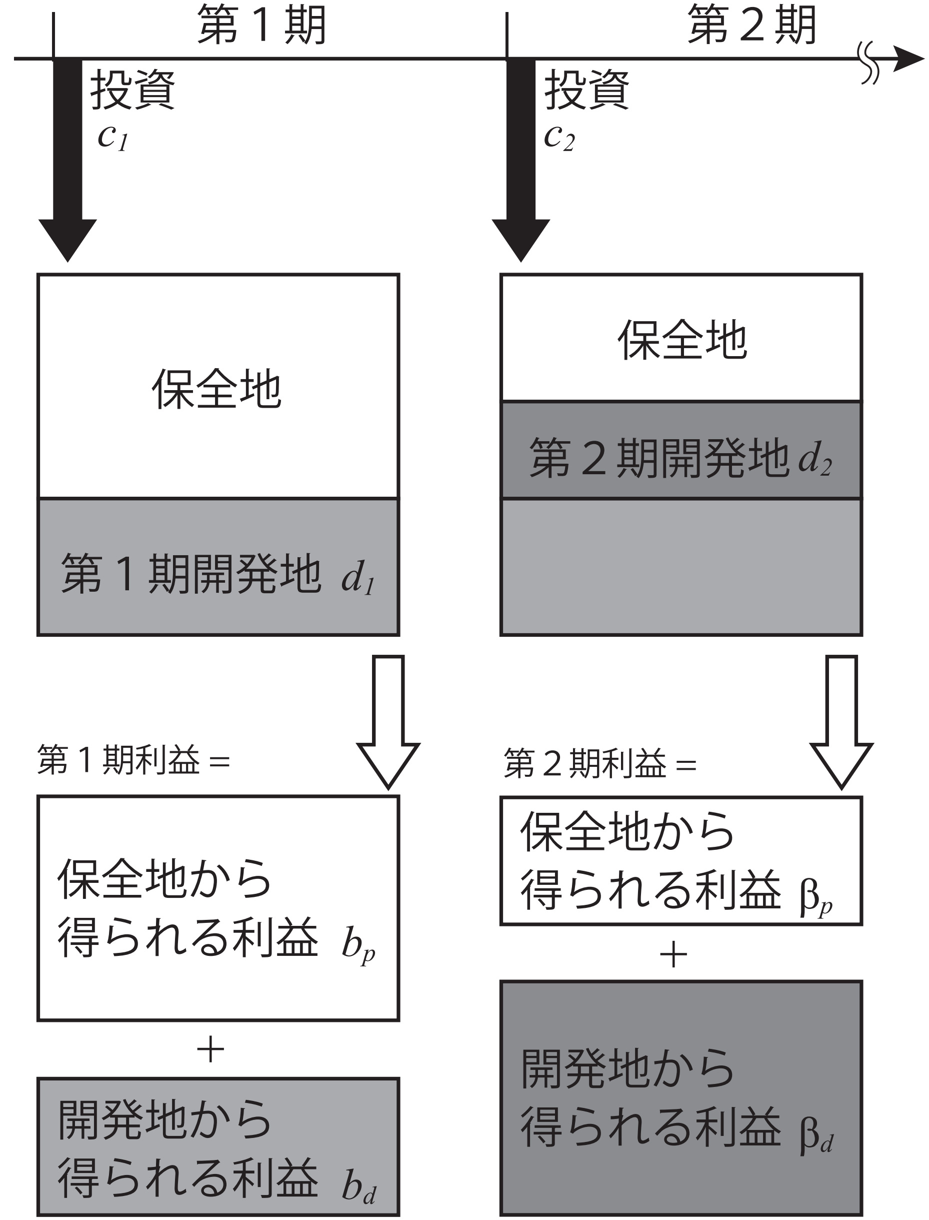


d = unity (a normalized unit of land)
d_1 ＝ 第１期で開発した土地の量
d_2 ＝ 第２期で開発した土地の量
b_p ＝ 保全した d から得られる第１期利益（恩恵）
b_d ＝開発した d から得られる 第１期利益（恩恵）
β_p ＝ 保全した d から得られる第２期利益(b_pおよびb_dに従う)
β_d ＝ 開発した d から得られる第２期利益(b_pおよびb_dに従う)
c_1 ＝ 第１期の投資費用
c_2 ＝ 第２期の投資費用

モデルの定義

エリアdは保全されているだけで利益をもたらすほど環境的に価値のある土地とする





ポイント

1. 動学モデルなので第２期の投資/利益に割引率は用いず現在価値として扱われる
2. 保全には投資費用はかからない
3. 第２期は投資判断は第１期の結果を加味して期首に行われる
4. すべての利益は係数として計算される

定式化―　論点（投資費用もしくは回収利益に不確実性を加味することで、投資判定基準に違いが現れるのか）へのアプローチ

第２期終了時での総利益の導出

↓　↓

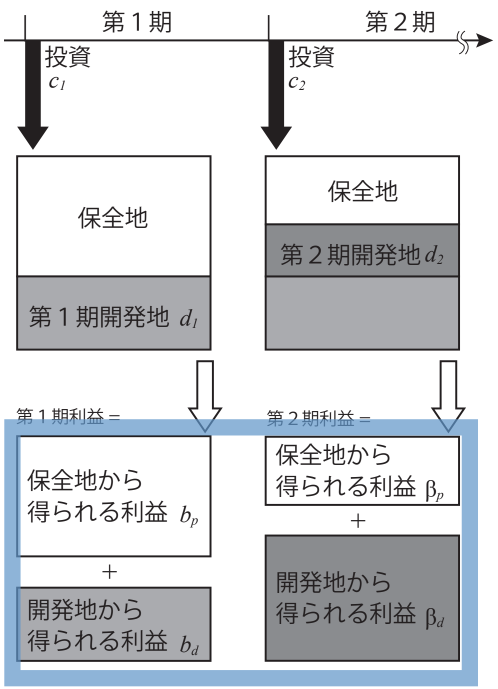
第１期で開発する場合の総期待利益　　第１期で開発しない場合の総期待利益

↓　↓

第１期投資の判定基準

↓　↓

不確実性を考慮しない場合の判定　　不確実性を考慮した場合の判定



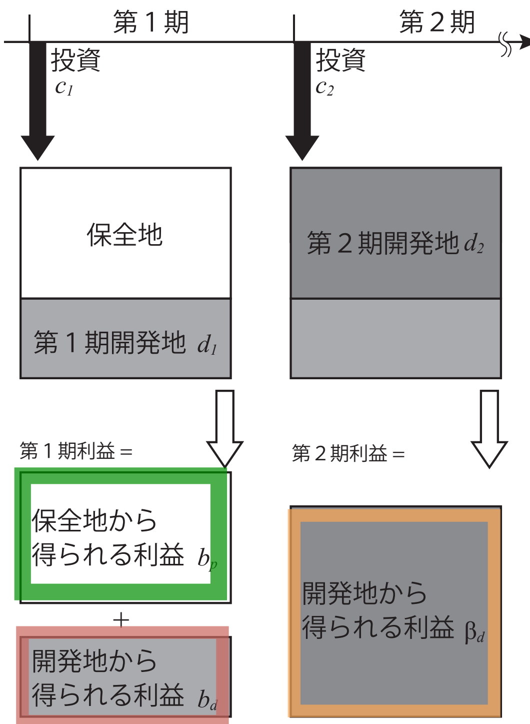
定式化—総利益の導出

第２期の開発量d_2は　If　$\beta_d - \beta_p > c_2$　then　$d_2 = 1 - d_1$　→(1)保全地は残らない
If　$\beta_d - \beta_p < c_2$　then　$d_2 = 0$　→(2)追加開発はしない、と定める

便宜上 $z = \beta_d - \beta_p$, $w = b_d - b_p - c_1$, 条件A：$z > c_2$ とし、第２期終了後の総利益を求める。

(条件Aのとき)

$$(1)\quad \boxed{b_p(1-d_1)} + \boxed{b_d d_1} \underbrace{- c_1 d_1}_{\text{投資}} + \boxed{\beta_d} \underbrace{- c_2(1-d_1)}_{\text{投資}} = w d_1 + c_2 d_1 + b_p + \beta_d - c_2$$



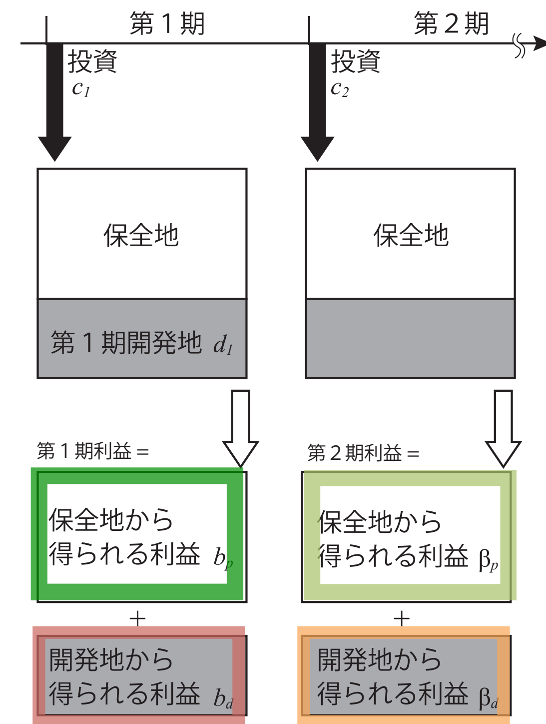
定式化—総利益の導出

第２期の開発量d_2は If $\beta_d-\beta_p>c_2$ then $d_2=1-d_1$ →(1)保全地は残らない
If $\beta_d-\beta_p<c_2$ then $d_2=0$ →(2)追加開発はしない、と定める

便宜上 $z=\beta_d-\beta_p$, $w=b_d-b_p-c_1$, 条件A：$z>c_2$ とし、第２期終了後の総利益を求める。

(条件Aではないとき)

$$\boxed{b_p(1-d_1)}+\boxed{b_d d_1}-c_1 d_1+\boxed{\beta_p(1-d_1)}+\boxed{\beta_d d_1}=w d_1+z d_1+b_p+\beta_p \tag{2}$$



定式化—総利益の導出

第２期の開発量d_2は If $\beta_d - \beta_p > c_2$ then $d_2 = 1 - d_1$ →(1)保全地は残らない
If $\beta_d - \beta_p < c_2$ then $d_2 = 0$ →(2)追加開発はしない、と定める

便宜上 $z = \beta_d - \beta_p$, $w = b_d - b_p - c_1$, 条件A：$z > c_2$とし、第２期終了後の総利益を求める。

(条件Aのとき)

(1) $$b_p(1-d_1)+b_d d_1-c_1 d_1+\beta_d-c_2(1-d_1)=wd_1+c_2 d_1+b_p+\beta_d-c_2$$

(条件Aではないとき)

(2) $$b_p(1-d_1)+b_d d_1-c_1 d_1+\beta_p(1-d_1)+\beta_d d_1=wd_1+zd_1+b_p+\beta_p$$

このとき、第１期で開発 $d_1>0$ を行う際の総期待利益は、

(3) $$E[(w+\min(c_2, z))d_1+b_p+\max(\beta_d-c_2, \beta_p)]$$

定式化—総利益の導出

第２期の開発量d_2は If $\beta_d - \beta_p > c_2$ then $d_2 = 1 - d_1$ →(1)保全地は残らない
If $\beta_d - \beta_p < c_2$ then $d_2 = 0$ →(2)追加開発はしない、と定める

便宜上 $z = \beta_d - \beta_p$, $w = b_d - b_p - c_1$, 条件A：$z > c_2$とし、第２期終了後の総利益を求める。

なお、d_1=0 の場合（第１期で開発をしない）(1)〜(3)式にd_1=0 を代入

(1) $b_p(1-d_1) + b_d d_1 - c_1 d_1 + \beta_d - c_2(1-d_1) = w d_1 + c_2 d_1 + b_p + \beta_d - c_2$

(2) $b_p(1-d_1) + b_d d_1 - c_1 d_1 + \beta_p(1-d_1) + \beta_d d_1 = w d_1 + z d_1 + b_p + \beta_p$

(3) $E[\,(w + \min(c_2,\ z))\,d_1 + b_p + \max\ (\beta_d - c_2,\ \beta_p)\,]$

総利益（条件A=全面開発） (1)’ $b_p + \beta_d - c_2$

総利益（条件Aではない=追加開発なし） (2)’ $b_p + \beta_p$

このときの総期待利益は、 (3)’ $E[b_p + \max(\beta_d - c_2, \beta_p)]$

定式化—投資の判定基準

「第１期で開発する場合」($d_1>0$)の総期待利得と「第１期で開発しない場合」($d_1=0$）の総期待利益を比較し、投資の判定基準を求める。

(3)-(3)'より

$$E[(w+\min(c_2, z))d_1+b_p+\max(\beta_d-c_2, \beta_p)] - E[b_p+\max(\beta_d-c_2, \beta_p)]$$

(4) $$=E[(w+\min(c_2, z))d_1]$$

この(4)式のうち、$E[w+\min(c_2, z)]$ の部分を判定式として利用できる。

即ち、*判定式* > 0 ならば「第１期で開発する」($d_1>0$）のが最適であるといえる。

定式化—不確実性を無視した投資判定

意思決定者が不確実性を無視すると仮定し、zとwをある既知のE[z], E[w]に置き換える。

このとき　$z = \beta_d - \beta_p \quad w = b_d - b_p - c_1$

判定式 $E[w+\min(c_2, z)]$

$= E[w]+\min(c_2,\ E[z])$　　但し、$c_2 < E[z]$ もしくは $c_2 > E[z]$

$c_2 < E[z]$のとき　判定式 = $E[w] + c_2$より、

$$\min(c_2,\ z) \leqslant c_2$$

$$P[\min(c_2,\ z) < c_2] > 0$$　（Pは[ ]内の生起確率を表す）

$E[\min(c_2,\ z)] < c_2$ より $E[w+\min(c_2,\ z)] < E[w]+c_2$

⇒不確実性下の期待利益は、確実性の高い状況での期待利益よりも小さいといえ、投資の不可逆性に鑑みると、不確実性が高いときには投資過剰よりは投資不足のほうが好ましい。

定式化—不確実性を無視した投資判定

意思決定者が不確実性を無視すると仮定し、zとwをある既知のE[z], E[w]に置き換える。

このとき　$z = \beta_d - \beta_p \quad w = b_d - b_p - c_1$

判定式 $E[w+\min(c_2, z)]$

$$= E[w] + \min(c_2, E[z])$$

但し、$c_2 < E[z]$ もしくは $c_2 > E[z]$

$c_2 > E[z]$のとき　判定式 = E[w] + E[z]より、

$$\min(c_2, z) \leqq z$$

$$P[\min(c_2, z) < z] > 0$$

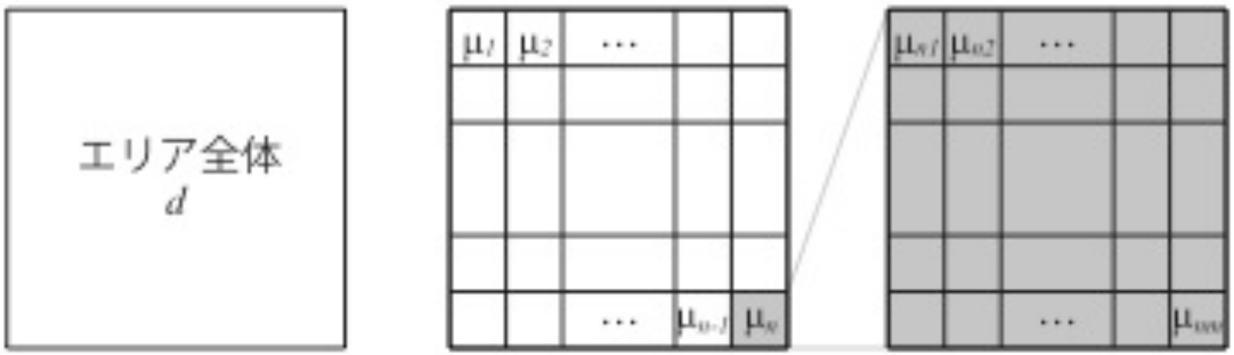
（Pは[ ]内の生起確率を表す）

$$E[\min(c_2, z)] < E[z]$$

⇒不確実性を無視した場合、判定式が正でさえあれば、全ての土地が開発されることになる。
ただし、不確実性を考慮すれば、そのような全面開発は起こりにくいといえる。

空間的な漸次性？

エリア全体dを n 個のユニットμ_i（$1 \leqq i \leqq n$）に分割し、各ユニットをさらに m 個のサブユニットμ_{ij}（$1 \leqq j \leqq m$）に分割する。最初のユニットの投資結果により、次のユニットの投資判定を行うとする。（但し隣り合う



このとき、第1期での各ユニット/サブユニットにおける開発利益b_{dij}は以下のように表される。

$$b_{di_1} = b_{di_2} = \ \ldots \ = b_{di_m}$$

$$b_{di_1} + b_{di_2} + \ \ldots \ + b_{di_m} = b_{di}$$

μ_iを開発することによる利益の逓減は以下で表される。

$$\frac{db_{di}}{di} < 0$$

結論

- 開発に不可逆性があり、ある期の投資結果が次の期の期待利益を影響を与える場合、開発による正味利益は減少する。このとき、開発はできるだけ少ない方が好ましい。

- ただし不可逆性があるということが直接開発を否定するものではなく、不可逆性を費用に加味しなければ、開発有利な投資判定になりがちであるということ。

＜他分野への応用＞

- 汚染物質対策への適用：開発利益＝汚染物質排出利益, 保全利益＝浄化の恩恵