水資源開発計画における開発と環境の集団コンフリクトに関するモデル分析

A Model Analysis of a Group Conflict between Development and Environment
on Water Resources Development Project

坂本麻衣子**・萩原良巳***
By Maiko SAKAMOTO**・Yoshimi HAGIHARA***

1．はじめに

現在、我が国では、開発を行おうとする主体と環境保護を訴える主体の間で利害の衝突、すなわちコンフリクトの発生が頻繁に見受けられる。特に、長良川河口堰問題、吉野川第十堰住民投票問題、諫早湾干拓事業のように開発の影響圏が一般に広範な水資源開発においてこの傾向は顕著である。また、将来的な世界規模の水不足が予想される中、世界各地における水争いの発生は必至であろうと推察される。無用なコンフリクトの激化や長期化を避けるためにも、今後開発計画に臨むにあたって、地域の住民の意見を考慮したコンフリクト・マネジメントが不可欠であるという認識を持つことが重要であるものと考える。

本論文はこのような認識にもとづき、将来的にコンフリクト・マネジメントを行っていくための基礎研究として、水資源開発計画におけるコンフリクトの特徴を踏まえながら2人ゲームとしてのモデルを構築する。そして一連のモデル分析によって微分方程式系における安定性の概念から、主体間の相違する利害のもとで実現され得る均衡解を分析することが可能となる

従来の規範的なコンフリクトに関する研究と本論文の相違は、主体を集団として認識する点にある。通常、コンフリクトにおける主体は集団として関与する。従来の研究では、集団はあるひとつの意見を一枚岩として有する主体としてモデル化される。

本論文では、集団間だけではなく集団内にも意見のばらつきがあり、集団の意見や選好は決して一枚岩で捉えられるものではないという認識のもと、主体を意見分布を有する集団としてモデル化する。このようなモデル化は、コンフリクト・マネジメントを行う上で集団内の意見のばらつきが重要な役割を果たすのではないかという視点にもとづくものである。

そして、意見分布を用いて集団の選好を決定するための手法を示し、集団間の異なる選好のもと均衡解となる状態を分析するための一連のシステムモデルを提案する。

2．集団コンフリクトのモデル化

(1) 集団の意見分布のモデル化[1)]

集団内の個人の意見が相互に影響し合い、全体としてゆらいだり、何らかの構造を呈したりするような、集団内部の意見分布の変化をシナジェティクス[2)]という確率微分方程式系を用いてモデル化する。

ある集団は開発派と環境派からなり、開発派の人数を n_1、環境派の人数を n_2 と書くとする。このとき、ある時刻 t での集団における n_1 と n_2 の分布 $\{n_1, n_2\}$ を意見分布と呼ぶものとする。ここで、これらの変数に関して次式のような関係を定める。

$$\left.\begin{array}{l} n_1+n_2=2N, \quad n_1-n_2=2n \\ n_1=N+n \quad, \quad n_2=N-n \\ -N\le n\le N, \quad 0\le n_1,n_2\le 2N \end{array}\right\} \tag{1}$$

また、集団が時刻 t で状態 $\{n_1, n_2\}$ をとる確率を $p(n;t)$ と書き、以下の条件を満たすものとする。

$$\sum_{n=-N}^{N} p(n;t)=1 \tag{2}$$

---

*キーワーズ：システム分析、水資源計画

**学生員，工修，京都大学工学院工学研究科
土木システム工学専攻，(宇治市五ケ庄,
TEL0774-38-4317, maiko@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp)
***正員，工博，京都大学防災研究所，
(宇治市五ケ庄, TEL0774-38-4307, FAX0774-38-4044)

集団間における個人の移動がないと仮定すると、各集団での人数 $2N$ は常に一定であり、意見分布は 1 つの変数 n にのみ依存すると考えてよい。

開発派と環境派間を個人がある遷移確率のもと移動するものとし、その遷移確率は変数 n で定められるその時点の意見分布の関数であると仮定する。つまり、集団における単位時間あたりの個人の遷移確率を以下のように定義する。

$$\left.\begin{array}{l} p_{21}(n)\ \text{（開発派から環境派への遷移）} \\ p_{12}(n)\ \text{（環境派から開発派への遷移）} \end{array}\right\} \qquad (3)$$

ここでは簡単のために集団内の各個人の行動が同じ確率で現れるような一様な集団を仮定し、個人の遷移確率を次のように定式化する。

$$\left.\begin{array}{l} p_{21}(n) = \exp(\delta + \kappa n) \\ p_{12}(n) = \exp[-(\delta + \kappa n)] \end{array}\right\} \qquad (4)$$

この定式化により以下の a), b)における集団の傾向を表現する。

a） 住民が開発派寄りか、環境派寄りかを表すためにパラメータ δ を設定する。δ が正で大きくなれば意見 2(環境派)から意見 1(開発派)へ個人が変化する確率が増加し、1 から 2 への変化確率が減少する。

b） 住民は集団の意見分布型によって自己の意見を変化させる、という傾向をモデルで表現するためにパラメータ κ を設定する。κ が大きくなれば、n に比例して遷移確率が増加する。

式(4)に示す個人の遷移確率は、集団状態$\{n_1, n_2\}$の隣接遷移、すなわち開発派が一人増える場合$\{n\to(n+1)\}$、または開発派が一人減る場合$\{n\to(n-1)\}$を表すものとすると集団全体での遷移確率$\{w_+(n), w_-(n)\}$は次式のように表される。

$$\left.\begin{array}{l} w((n+1)\leftarrow n) \equiv w_+(n) = n_2\, p_{12}(n) = (N-n)\, p_{12}(n) \\ w((n-1)\leftarrow n) \equiv w_-(n) = n_1\, p_{21}(n) = (N+n)\, p_{12}(n) \\ w(n'\leftarrow n) = 0, \quad n' \neq n \pm 1 \end{array}\right\} \qquad (5)$$

式(5)の$\{w_+(n), w_-(n)\}$を用いれば、集団が時刻 t で状態$\{n_1, n_2\}$をとる確率 $p(n;t)$の時間変化は以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \frac{dp(n;t)}{dt} &= [w_-(n+1)\,p(n+1;t) - w_-(n)\,p(n;t)] \\ &= [w_+(n-1)\,p(n-1;t) - w_+(n)\,p(n;t)] \end{aligned} \qquad (6)$$

式(6)の定常解は次のように求められる。

$$\left.\begin{array}{l} p_{st}(n) = p_{st}(0)\displaystyle\prod_{\nu=1}^{n}\frac{w_+(\nu-1)}{w_-(\nu)}, \text{ただし } 1 \le n \le N \\ p_{st}(n) = p_{st}(0)\displaystyle\prod_{\nu=-1}^{n}\frac{w_+(\nu+1)}{w_-(\nu)}, \text{ただし } -N \le n \le -1 \end{array}\right\} \qquad (7)$$

なお、式(7)の $p_{st}(0)$は式(2)を満たすための基準化定数である。

式(4)で定義される個人の遷移確率を用いれば、式(7)の定常解は次式のように求まる。

$$p_{st}(n) = p_{st}(0)\prod_{\nu=1}^{n}\frac{(N!)^2}{(2N)!}\binom{2N}{N+n}\exp[2\delta n + \kappa n^2] \qquad (8)$$

ここで、Stirling の公式

$$\ln(M!) \approx M \ln M - M \qquad (9)$$

を用いて二項係数と他の階乗を計算すれば、$p_{st}(n)$は次式のように求まる。

$$\begin{aligned} p_{st}(n) = p_{st}(0)\exp[N\cdot[2\delta n + \kappa n^2 \\ - \ln\{(1+n)^{(1+n)}\cdot(1-n)^{(1-n)}\}]] \end{aligned} \qquad (10)$$

式(4)の遷移確率の定式化におけるパラメータは 、式(10)から分かるように最終的な意見分布型を決定する重要なパラメータである。式(4)におけるパラメータ δ と κ の値と、式(10)に示される意見分布の収束型との関係を図 1 に示す。これより、意見分布型はパラメータの値によって次の①～③に示すような 3 つの型に分類することができる。

① 二極対立型（図 2）：図 1 における影の部分にパラメータが設定されている場合。

② 片側偏向型（図 3）：図 1 における太線の関数上にパラメータが設定されている場合。ただし、(κ , δ) = (1, 0)は含まない。

③ 一様分布型（図 4）：図 1 における白い部分にパラメータが設定されている場合。ただし、(κ , δ) = (1, 0)を含む。

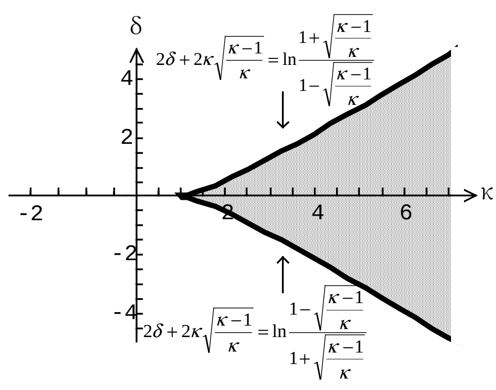
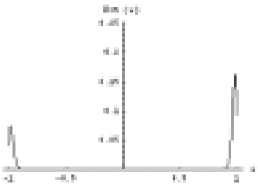


図-1　パラメータと意見分布型の分類図



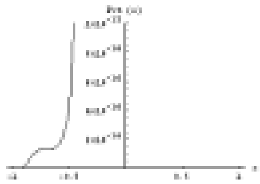


図-2　二極対立型　　**図-3　片側偏向型**

(図は(κ, δ)=(1.1, 0.002))　(図は(κ, δ)=(2, 0.533))

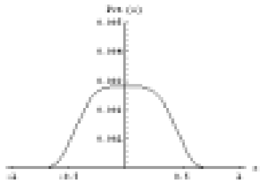


図-4　一様分布型（図は(κ, δ)=(1, 0)）

(2) 主体の戦略選択確率に関するモデル化 [3)]

時間経過の中で、複数のオプションを有する複数の主体が相互の利得を学習して、最終的に各々どのような戦略を選択し、均衡解となるかを分析するために、進化ゲームの理論に基づくレプリケーター・ダイナミクス [4)] を用いてモデル化する。

ここで、モデル化において重要な用語を整理する。オプションとは主体の有する選択肢のことであり、戦略とは 1 人の主体のオプションに関する実行有無についての組合せである。また、発生事象とはすべての主体の戦略の組合せによって表され、選好ベクトルはすべての発生事象を主体が好ましいと思う順に並べた順序列のことである。

レプリケーター・ダイナミクスにおいては、主体は純粋戦略を何度も何度もランダムに選択し、ゲームをプレーする。そして、平均利得より良い利得をあげる戦略は戦略に割り当てられる確率が増加し、平均より悪い利得をあげる戦略はその戦略に割り当てられる確率が減少する。標準 2 集団レプリケーター・ダイナミクスを次式に示す。

$$\begin{aligned}\dot{z}_{1,h} &= [e^{j_1}\cdot \mathbf{M_1 z_2} - \mathbf{z_1}\cdot \mathbf{M_1 z_2}]z_{1,h} \\ &= [\sum_{\Lambda_{2,k}\in\{\Lambda_2\}} m^1{}_{hk} z_{2,k} - \sum_{\Lambda_{1,l}\in\{\Lambda_1\}}\ \sum_{\Lambda_{2,k}\in\{\Lambda_2\}} z_{1,l} m^1{}_{lk} z_{2,k}]z_{1,h}\end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned}\dot{z}_{2,k} &= [e^{j_2}\cdot \mathbf{M_2}^T\mathbf{z_1} - \mathbf{z_2}\cdot \mathbf{M_2}^T\mathbf{z_1}]z_{2,k} \\ &= [\sum_{\Lambda_{1,h}\in\{\Lambda_1\}} m^2{}_{hk} z_{1,h} - \sum_{j\in S_2}\ \sum_{\Lambda_{1,h}\in\{\Lambda_1\}} z_{2,l} m^2{}_{hl} z_{1,h}]z_{2,k}\end{aligned} \quad (12)$$

$\mathbf{\Lambda_1}$：主体 1 のオプション集合

$\mathbf{\Lambda_2}$：主体 2 のオプション集合

$\Lambda_{1,h}$：主体 1 のオプション h　($\Lambda_{1,h}\in\{\Lambda_1\}$)

$\Lambda_{2,k}$：主体 2 のオプション k　($\Lambda_{2,k}\in\{\Lambda_2\}$)

$z_{1,l}$：主体 1 の l 番目の戦略が選択される確率

$z_{2,m}$：主体 2 の m 番目の戦略が選択される確率

$\mathbf{z_1}$：主体 1 の戦略選択確率ベクトル

$\mathbf{z_2}$：主体 2 の戦略選択確率ベクトル

$\mathbf{M_1}$：主体 1 の利得行列

$\mathbf{M_2}$：主体 2 の利得行列

$m^1{}_{hk}$：$\Lambda_{1,h}$，$\Lambda_{2,k}$に対する主体 1 の利得

$m^2{}_{hk}$：$\Lambda_{1,h}$，$\Lambda_{2,k}$に対する主体 2 の利得

e^{j_i}：j_i－空間の単位ベクトル

(3) 集団の選好ベクトルの設定

本論文では、**(1)**でモデル化した集団の意見分布を用いて選好ベクトルを決定する方法を提案する。そして、選好ベクトルから**(2)**の分析に用いる利得行列を設定する手順を示す。

一連の手順は、次に説明する開発計画における実際的な行動プロセスを想定し記述するものである。一般に開発計画における主体は計画立案者と計画立案者以外の 2 つに分けることが出来る。そして計画に対する評価は、まず計画立案者が行う。これをイニシャル評価と呼ぶものとする。次に、イニシャル評価として開示された評価に対し、他の主体は自己の集団内意見分布を反映した評価を行う。これをリターン評価と呼ぶものとする。

最近は計画立案段階から住民が参加したり、住民が独自に代替案の環境影響評価を専門家に打診するという動きもあるが、本論文ではすべての主体間の根底には共通の虚偽でないイニシャル評価がある場合を想定している。

ある主体から見て良いとされる計画案も、他の主体にとっては意見分布によって開発を是とするか環境を是とするかは異なり、一連の手順を用いることによって、このような意見分布の相違を反映した選好ベクトルを得ることができる。

2 人の主体の有するオプション集合がそれぞれ $\mathbf{\Lambda_1}=\{\Lambda_{1,h}\}$，$\mathbf{\Lambda_2}=\{\Lambda_{2,k}\}$であるとする。開発よりもたらされる便益と環境に与える影響をまず計画立案者が評価し、これがイニシャル評価となる。定式化すれば次式に示すようになる。

$$\Theta(\Lambda) = \Psi(\Lambda) + \Phi(\Lambda) \quad (13)$$

$\Theta(\Lambda)$：イニシャル評価

$\Psi(\Lambda)$：開発によりもたらされる便益

$\Phi(\Lambda)$：環境にもたらされる便益

このとき、$|\Lambda_1|$+$|\Lambda_2|$個のオプションに対する実行の有無についての $2^{|\Lambda_1|+|\Lambda_2|}$ 個の評価値を一次元の座標軸上に並べることができる。ただし、$|\Lambda_1|$ のような集合における絶対値記号は、集合に含まれる要素の個数を表すものである。これらの評価値が 1 からー1 までの間の値をとるように基準化するため、次式を導入する。

a) [max {Θ}]･[min {Θ}]≧0 のとき

$$\vartheta(\pi) = \frac{2|\Theta(\Lambda)| - |\max\{\Theta\}| - |\min\{\Theta\}|}{|\max\{\Theta\}| - |\min\{\Theta\}|} \qquad (14)$$

b) [max {Θ}]･[min {Θ}] < 0 のとき

$$\vartheta(\pi) = \frac{2\Theta(\Lambda) - \max\{\Theta\} - \min\{\Theta\}}{\max\{\Theta\} - \min\{\Theta\}} \qquad (15)$$

評価値群{ϑ}がイニシャル評価となる。

次に式(11)で得られる主体の意見分布と対応させ、$2^{|\Lambda_1|+|\Lambda_2|}$ 個の評価値に対して、他の主体から見たリターン評価を次式のように行う。なお、式中における $\Lambda_{i,\ k}$ の右肩の 1,0 は主体のオプションの実行の有無を示し、0 ならば実行し、1 ならば実行しないことを表す。

$$\Omega(\Lambda_{i,k}^{\ 0or1}) = \int_{\vartheta(\Lambda_{i,k-1}^{\ 0or1})}^{\vartheta(\Lambda_{i,k+1}^{\ 0or1})} p_{st}(n)dn \qquad (16)$$

評価値群{Ω}がリターン評価となる。式(16)はすなわち、i 個目の戦略のリターン評価値は、式(10)に示される集団の意見分布の収束型において i-1 個目の戦略についてのイニシャル評価値から i+1 個目の戦略についてのイニシャル評価値までの範囲を積分して得ることを示すものである。これを模式的に表せば図 5 のようになる。

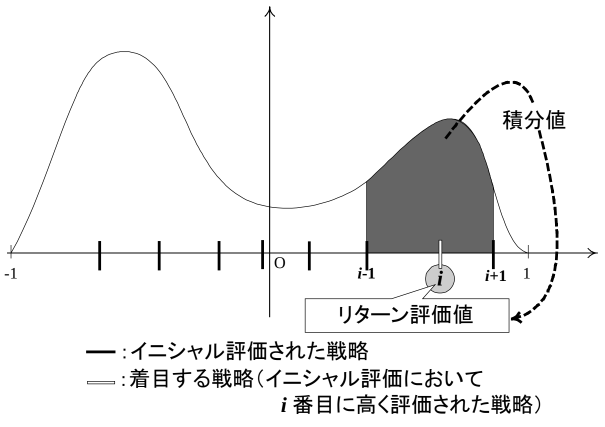


図-5　イニシャル評価とリターン評価

これより、各主体の意見分布を反映した選好ベクトルが得られる。

次に選好ベクトルから(2)で用いる利得行列を設定する方法について説明する。発生事象はすべての主体が有するオプションの実行の有無についての 1,0 の組合せで表すことができる。1,0 の数列は 2 進表記と捉えることができるので、これを 10 進表記に変換する。

こうして選好ベクトルはある数字の並びによって表現することが出来る。そして従来のゲーム理論における利得行列のように、行列における行と列を 2 人プレーヤーの戦略に対応させれば、行列の要素は発生事象を表すことになる。選好ベクトルにおいて選好の低い発生事象から順に 0,1,2･･･と整数値の利得を与え、対応する要素にこの利得を書き入れ、利得行列が得られる。

3．まとめ

本論文では意見分布を考慮した集団コンフリクトをレプリケーター・ダイナミクスとシナジェティクスを用いてモデル化した。また、集団の意見分布から集団の選好を決定する方法を示した。

実際問題への適用は、まずモデルを用いて現状を記述し、次にシナリオを与えパラメータを再設定し均衡解の変化を見ることで、近未来に生じ得る状況を分析することが可能である。

参考文献

1) 坂本麻衣子・萩原良巳；開発と環境のコンフリクトにおける集団の意見分布に関するモデル分析，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集，Ⅳ-72-1-2，2002.

2) W.ワイドリッヒ・G.ハーグ，寺本英・中島久男・重定南奈子共訳；社会学の数学モデル，東海大学出版会，1986.

3) 坂本麻衣子・萩原良巳；大規模開発における合意形成プロセスに関する研究，土木学会年次学術講演会講演概要集，pp. 256-257，2001.

4) Ｊ.W.ウェイブル・大和瀬達二監訳；進化ゲームの理論，文化書房博文社，1998.