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 in 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、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と考える。

本研究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。現実に発生するコンフリクトに構築したモデルを適用することにより、利害が相違する主体の間で実現する戦略の均衡状態を分析することが可能となる。

従来のゲーム理論を用いた規範的なコンフリクトに関する研究と本研究の相違は、主体を集団として認識する点にある。通常、水資源開発に伴うコンフリクトにおいて、主体は集団として関与することが多い。しかし、ゲーム理論による従来の研究においては、主体はあるひとつの意見を一枚岩として有するプレーヤーとしてモデル化される。

本研究では、集団間だけではなく集団内にも意見のばらつきがあり、集団の意見や選好が決して一枚岩で捉えられない場合を想定し、主体を意見分布を有する集団としてモデル化する。これは、住民参加の促進が予想される今後の地域計画において、コンフリクト・マネジメントを行う上では集団内の意見のばらつきがコンフリクトの展開に重要な役割を果たすのではないかという認識のもと行うモデル化である。

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。

*キーワーズ：水資源計画、市民参加、地域計画
**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)

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

本研究では主体を意見分布を有する集団としてシナジェティクス[1)]という確率微分方程式系でモデル化する。シナジェティクスは、対象とするシステムが個体から構成されながらも、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、個体間相互作用に伴うシステムの時間変化を記述する理論である。

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。

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

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。

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

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次のように定義する。

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

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。

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

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。

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

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。

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

式(6)の定常解は次のように求められる。

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

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。

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

ここで、Stirling の公式

$$\ln(M!) \approx M\ln M - M \tag{9}$$

を用いれば、二項係数と他の階乗が近似できる。さらに、

$$x = \frac{n}{N}\ \ and\ \ \Delta x = \frac{1}{N} \equiv \varepsilon \tag{10}$$

を用いて変数 x を導入すれば、$p_{st}(x)$ は次式のように求まる。

$$\begin{aligned} p_{st}(x) = p_{st}(0)\exp[N\cdot[2\delta x + \kappa x^2 \\ -\ln\{(1+x)^{(1+x)}\cdot(1-x)^{(1-x)}\}]] \end{aligned} \tag{11}$$

式(4)の遷移確率の定式化におけるパラメータは 、式(11)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(11)に示される意見分布の収束型との関係を以下で導出する。

以下での議論を簡便に進めるために、式(11)を式(12)の $U(x)$のもと、式(13)のようにおきなおす。

$$\begin{aligned} U(x) = 2\delta x + \kappa x^2 \\ -[(1+x)\ln(1+x) + (1-x)\ln(1-x)] \end{aligned} \tag{12}$$

$$p_{st}(Nx) = p_{st}(0)\exp[NU(x)] \tag{13}$$

本研究では、式(13)の定常意見分布における極値の個数に着目して意見分布型の分類を行うこととする。そこで、式(12)(13)を x で偏微分して極値の個数を調べる。

$U(x)$ を x で偏微分して次式が得られる。

$$\frac{\partial U(x)}{\partial x} = 2\delta + 2\kappa x - [\ln(1+x) - \ln(1-x)] \tag{14}$$

式(14)を 0 として、次の式を得る。

$$2\delta + 2\kappa x = \ln\frac{1+x}{1-x}\quad ,\text{ただし}\ -1 < x < 1 \tag{15}$$

ここで、左辺と右辺を次のようにおく。

$$f(x) = \ln\frac{1+x}{1-x} \tag{16}$$

$$g(x) = 2\delta + 2\kappa x \tag{17}$$

$f(x)$は次に示すような関数であり、$g(x)$は一次関数である。

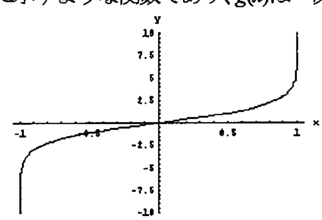

図 1 : $f(x)$の概観

ここに関数 $f(x)$と $g(x)$の関係から、δ と κ の値によって極値の個数が異なってくることが分かる。そこで、これら 2 つのパラメータから極値の個数を分類する。

まず、式(16)(17)を x で微分すると、

$$\frac{df(x)}{dx}=\frac{2}{(1+x)(1-x)} \tag{18}$$

$$\frac{dg(x)}{dx}=2\kappa \tag{19}$$

ここでx=0 での$f(x)$の傾きは式(18)より 2 であることが分かる。$f(x)$と$g(x)$は共に点対称な関数であるから、x=0 において接することになる。よって、$g(x)$のx=0 における傾きも同様に 2 となる。このとき式(17)の微分から、κ=1 となる。

また、$\kappa \leqq 1$ のとき$g(x)$の傾きから、$f(x)$と$g(x)$が等しくなるようなxは任意のδに関して 1 つしか存在しない。したがって、極値は 1 つであることが分かる。

次に、$\kappa>1$ の場合について考える。式(18)(19)より、これら 2 つの関数の接点における接線の傾きが分かる。接する場合はこれらが等しいので、次のようにおける。

$$2\kappa=\frac{2}{(1+x)(1-x)} \tag{20}$$

これをxについて解けば次式を得る。

$$x=\pm\sqrt{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \tag{21}$$

式(21)を式(15)に代入すると、次の式が得られる。

$$2\delta \pm 2\kappa\sqrt{\frac{\kappa-1}{\kappa}}=\ln\frac{1\pm\sqrt{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}{1\mp\sqrt{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} \tag{22}$$

こうして、$\kappa>1$ におけるδとκの関係が得られる。以上のことをまとめたものを図 2 に示す。

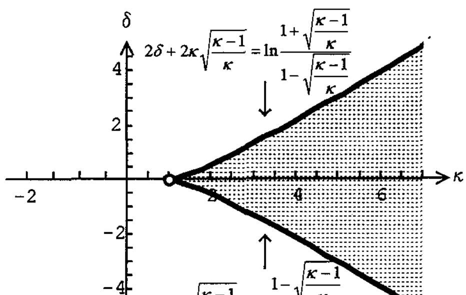

図 2：パラメータと意見分布型の分類図

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 つの型に分類できることが明らかとなった。なお、以下で示す意見分布を表す図において、横軸は式(11)におけるxを表しており、範囲は[-1, 1]となる。

① 二極対立型（図 3）：図 2 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 4）：図 2 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、図中の白丸で表される点$(\kappa,\delta)=(1,0)$は含まない。

③ 一様分布型（図 5）：図 2 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、$(\kappa,\delta)=(1,0)$を含む。

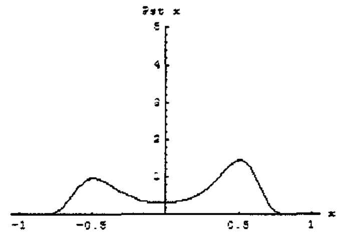

図 3：二極対立型（図は(κ,δ)=(1.1, 0.002)）

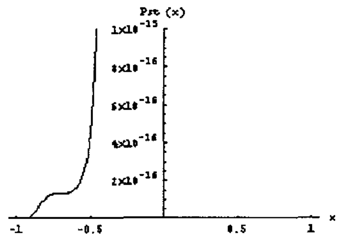

図 4：片側偏向型（図は(κ,δ)=(2, 0.533)）

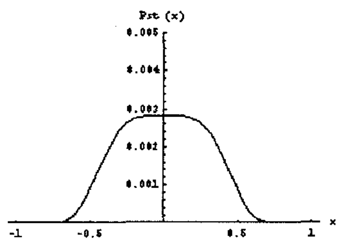

図 5：一様分布型（図は(κ,δ)=(1, 0)）

（2）主体の戦略選択確率に関するモデル化

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 [2] を用いてモデル化する。

ここで、モデル化において用いる語を整理する。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。

$$\dot{z}_{1,h}=[e^{j_1}\cdot\mathbf{M_1 z_2}-\mathbf{z_1}\cdot\mathbf{M_1 z_2}]z_{1,h}$$
$$=[\sum_{\Lambda_{2,k}\in\{\Lambda_2\}} m^1{}_{hk}z_{2,k}-\sum_{\Lambda_{1,l}\in\{\Lambda_1\}}\sum_{\Lambda_{2,k}\in\{\Lambda_2\}} z_{1,l}m^1{}_{lk}z_{2,k}]z_{1,h} \tag{23}$$

$$\dot{z}_{2,k}=[e^{j_2}\cdot\mathbf{M_2}^T\mathbf{z_1}-\mathbf{z_2}\cdot\mathbf{M_2}^T\mathbf{z_1}]z_{2,k}$$
$$=[\sum_{\Lambda_{1,h}\in\{\Lambda_1\}} m^2{}_{hk}z_{1,h}-\sum_{j\in S_2}\sum_{\Lambda_{1,h}\in\{\Lambda_1\}} z_{2,l}m^2{}_{hl}z_{1,h}]z_{2,k} \tag{24}$$

Λ_1：主体1のオプション集合
Λ_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ー空間の単位ベクトル

(3) 集団の選好ベクトルの設定

本研究では、(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主体間の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表明された評価に対し、各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。

すなわち、本研究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。計画立案者が虚偽の表明をしたり、住民が独自に代替案の環境影響評価を専門家に打診したりするという状況が実際には存在するが、本研究では共通の情報のもとで、各主体の意見分布に基づく選好の相違が均衡解にどのように影響するかという点に限定して分析を行うものである。

イニシャル評価において環境面で便益が大きいと評価された代替案も、壊滅的な水害に度々さらされ、速やかな治水対策を望んでいるような地域の住民にとっては魅力的な代替案とは写らないであろう。このような主体ごとの意見分布を反映した選好ベクトルを得るためのプロセスを次に示す。

2人の主体の有するオプション集合がそれぞれ$\Lambda_1=\{\Lambda_{1,h}\}$, $\Lambda_2=\{\Lambda_{2,k}\}$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。

$$\Theta(\Lambda)=\Psi(\Lambda)+\Phi(\Lambda) \tag{25}$$

$\Theta(\Lambda)$：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考えた$2^{|\Lambda_1|}+2^{|\Lambda_2|}$個の戦略に対する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。これらの評価値を意見分布の範囲と対応させるため、次式を導入し、1から－1までの間の値をとるように基準化する。

a)　$[\max\{\Theta\}]\cdot[\min\{\Theta\}]\geq 0$のとき

$$\vartheta(\pi)=\frac{2|\Theta(\Lambda)|-|\max\{\Theta\}|-|\min\{\Theta\}|}{|\max\{\Theta\}|-|\min\{\Theta\}|} \tag{26}$$

b)　$[\max\{\Theta\}]\cdot[\min\{\Theta\}]<0$のとき

$$\vartheta(\pi)=\frac{2\Theta(\Lambda)-\max\{\Theta\}-\min\{\Theta\}}{\max\{\Theta\}-\min\{\Theta\}} \tag{27}$$

評価値群$\{\vartheta\}$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、$2^{|\Lambda_1|}+2^{|\Lambda_2|}$個の戦略に対する評価値について、各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ならば実行せず、1ならば実行することを表す。

$$\Omega(\Lambda_{i,k}{}^{0or1})=\int_{\vartheta(\Lambda_{i,k-1}{}^{0or1})}^{\vartheta(\Lambda_{i,k+1}{}^{0or1})} p_{st}(x)dx \tag{28}$$

評価値群$\{\Omega\}$がリターン評価となる。式(17)はすなわち、i個目の戦略のリターン評価値は、式(11)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。これは、集団構成員が各戦略を支持する確率を積分値が表現するという仮定のもと行ったモデル化である。これを模式的に表せば図6のようになる。

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

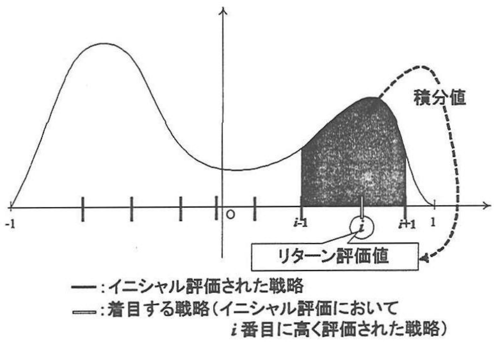

図6:イニシャル評価とリターン評価

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数列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 人の主体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。事象のモデル適用において具体的にそのプロセスを示す。

進化ゲームの理論は選択戦略確率の時間変化を見る理論であるが、利得行列は固定され不変である。シナジェティクスで表される意見分布は時間と共に変化し得、これをもとに利得行列を設定することによって、固定的でなく、集団の意見分布に対応して変化する利得行列を設定することが可能となる。この利得行列を進化ゲームの理論において用いれば、集団の利得が固定的でない場合の戦略選択確率の変化を分析することが可能となる。この点に、本研究で提案する手順を踏んで、利得行列を設定する意義があると考える。

3.数値実験としての長良川河口堰問題へのモデルの適用

(1) 歴史分析

すでに坂本ら [3]は、数学モデルを用いて 30 年間近くに及ぶ長良川河口堰問題のコンフリクト分析を行ってきた。まず、モデル適用にあたって長良川河口堰問題の概要を次に説明する。[4),5)]

長良川の下流地域では古くから洪水が繰り返され、長良川下流地域の住民にとって十分な治水対策は悲願であった。特に、1959 年から 1961 年までの 3 年にわたり毎年大規模な台風が接近し、これがきっかけとなって、1968 年に長良川河口堰計画は立案された。そして、1988 年に旧建設省・愛知県(名古屋市含む)・三重県・岐阜県により河口堰建設が着工された。

1980 年代になると環境問題が注目され始め、長良川河口堰建設が環境汚染や生態系の破壊を招くとして、建設取りやめを訴える環境保護団体が現れ、マスコミと共に長良川河口堰建設を批判し、計画反対の風が全国規模で吹き始めた。流域住民は、旧建設省を筆頭とする開発推進グループと、環境保護団体を筆頭とする環境保護グループの間を行き来していた。開発推進グループは河口堰案を見直すことなく推進したいと考え、流域住民はマスコミの影響を受ける前で、反対運動を起こすという選択肢を有しながらも、治水対策を望む声から計画同意の気持ちが強かったと推察される。最終的には、長良川河口堰の建設は進められ、1996 年に完成して治水面での運用が開始され、1997 年になって利水面での運用が開始された。

ここではモデル適用の対象として、1990~1994 年に位置する開発推進グループを代表する旧建設省と流域住民のコンフリクトに着目し、当時の状況を 2 で構築したモデルで記述する。そして、現実には現れないコンフリクトの深層について、主体の意見分布と戦略行動の変化という視点から分析する。以下では、旧建設省を主体 1、流域住民を主体 2 とする。

旧建設省は一貫して開発を唱える意見に分布のない主体としてモデル化する。意見分布を描けば、δ で表すデルタ関数を用いて次式で表せられる。

$$p_{1,st}(x_1) = \delta(x_1 - 1) \tag{29}$$

また、流域住民の単位時間あたりの個人の遷移確率を式(4)のようにおけば、その定常解は式(11)のように与えられる。史実より推定される当時の流域住民は、若干開発を好ましいと思っており、そして形勢をうかがい事態のなりゆきによって態度を決定しようとする特徴を有していたと推察される。このような傾向を表現し、また現実と符合する均衡解を得るために、前述のパラメータの定義 a), b)に基づき、式(4)のパラメータを表 1 のように設定する。

表1:パラメータ対応表

パラメータ / 主体	N	δ	κ
2.流域住民	100	0.002	1.1

この設定より求まる定常解の分布を図 7、図 8 に示す。

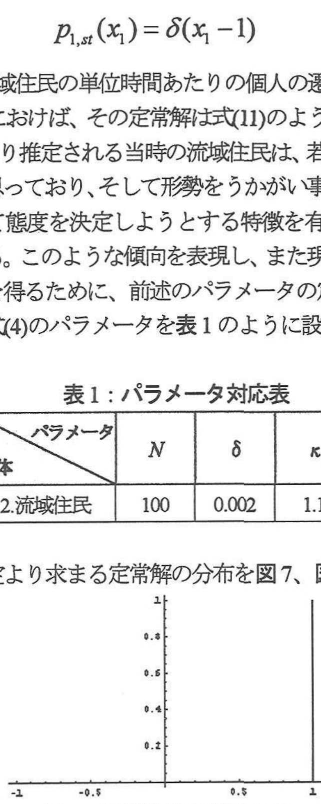

図7:旧建設省の意見分布

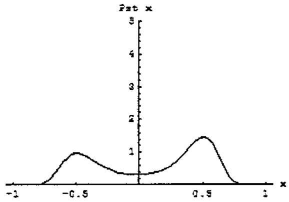

図8：流域住民の意見分布

表1の設定は**図8**にも表れているように、**図2**における①の二極対立型にあたる。つまり流域住民は治水対策を必要としながらもマスコミや環境保護団体の影響により環境派へ遷移しており、集団内で意見が対立し二極化していた当時の状況を表すものである。

次に、式(23)(24)に示される2集団標準レプリケーター・ダイナミクスにおいて、旧建設省、流域住民がそれぞれ2つのオプションを有している場合についてモデル化を行う。主体の有するオプションを次のように設定する。

表2：各主体のオプション

$\Lambda_{1,1}$	旧建設省は計画を見直す。
$\Lambda_{1,2}$	旧建設省は流域住民に補償を払う。
$\Lambda_{2,1}$	流域住民は計画に同意する。
$\Lambda_{2,2}$	流域住民は反対運動を起こす。

このとき、主体が有するオプションの実行の有無について実行する場合を1、実行しない場合を0として表したものを2進表記と捉え、10進表記に対応させたものを**表3**に示す。

表3：発生事象の2進表記と10進表記の対応表

主体	オプション	発生事象															
旧建設省	$\Lambda_{1,1}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	$\Lambda_{1,2}$	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
流域住民	$\Lambda_{2,1}$	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
	$\Lambda_{2,1}$	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
10進表記		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

各主体のオプションの実行有無に関する組合せ$\{\Lambda_{i1}^{0or1}, \Lambda_{i2}^{0or1}\}$を戦略、すべての主体の戦略の組合せ$\{\Lambda_{1,1}^{0or1}, \Lambda_{1,2}^{0or1}, \Lambda_{2,1}^{0or1}, \Lambda_{2,2}^{0or1}\}$を発生事象と呼ぶこととする。**表3**に示される発生事象の10進表記と戦略の対応関係は、2人ゲームの場合には行列を用いて次式(30)のように表現することができる。ここで行列における行は旧建設省の戦略、列は流域住民の戦略を表す。

$$
P = \left(\begin{array}{ccccc} & \{\Lambda_{2,1}^{0},\Lambda_{2,2}^{0}\} & \{\Lambda_{2,1}^{1},\Lambda_{2,2}^{0}\} & \{\Lambda_{2,1}^{0},\Lambda_{2,2}^{1}\} & \{\Lambda_{2,1}^{1},\Lambda_{2,2}^{1}\} \\ \{\Lambda_{1,1}^{0},\Lambda_{1,2}^{0}\} & 0 & 4 & 8 & 12 \\ \{\Lambda_{1,1}^{1},\Lambda_{1,2}^{0}\} & 1 & 5 & 9 & 13 \\ \{\Lambda_{1,1}^{0},\Lambda_{1,2}^{1}\} & 2 & 6 & 10 & 14 \\ \{\Lambda_{1,1}^{1},\Lambda_{1,2}^{1}\} & 3 & 7 & 11 & 15 \end{array} \right) \quad (30)
$$

次に戦略に対する各主体のリターン評価値を求める。リターン評価を求めるために必要となるイニシャル評価はすべての主体が合意する開発と環境に関する戦略の便益評価である。本モデルを適用する際には、実際の便益評価を式(26)(27)により基準化してイニシャル評価を得る。しかしながら、モデル化において、便益評価の困難な性質の戦略が存在したり、あるいは過去の検証としてモデルを用いる際にデータの入手が困難であったりすることも多い。このような場合には、イニシャル評価を定性的に設定する方法が考えられる。すなわち、戦略の性質から開発寄りか環境寄りかに関する順位をつけ、これを1次元の座標軸の-1〜0〜1 の間に等間隔に並べて評価値を与える方法である。長良川河口堰問題への適用においてもこの方法を用いることとし、イニシャル評価を**表4**に示すように設定する。

表4：戦略に対する評価値

発生事象 ＼ 評価値	$\Lambda_{1,1}^{0}$	$\Lambda_{1,1}^{1}$	$\Lambda_{1,2}^{0}$	$\Lambda_{1,2}^{1}$	$\Lambda_{2,1}^{0}$	$\Lambda_{2,1}^{1}$	$\Lambda_{2,2}^{0}$	$\Lambda_{2,2}^{1}$
イニシャル評価	0.8	-0.6	0.2	-0.2	-0.4	0.6	0.4	-0.8
2.流域住民	0.861	0.23	0.228	0.488	0.299	0.353	0.221	0.051

本節では旧建設省を意見分布のない主体としてモデル化しており、この点で2章（3）節で示した意見分布を反映して選好ベクトルを設定する方法は適用できない。旧建設省の開発一辺倒であるという主体の特徴を考えれば、旧建設省のリターン評価はイニシャル評価において最も開発推進的である発生事象が最も評価が高く、ここから順に開発推進的な発生事象に対して高評価が与えられ、最後に最も環境保護推進的である発生事象が最も低い評価を得ることになる。そこで、ここでは**表4**のイニシャル評価値をそのまま旧建設省のリターン評価値として用いることとする。

流域住民のリターン評価は**図8**に示す流域住民の意見分布に式(28)を適用して**表4**に示すように得られる。これより、イニシャル評価と流域住民のリターン評価は異なることが分かる。これはイニシャル評価値において環境派寄りであると評価された戦略が、流域住民のうちの環境派により高い評価を得たからである。

旧建設省と流域住民のリターン評価から各主体の発生事象に対する選好ベクトルを求める。選好ベクトルは発生事象を好ましい順番に並べたものであり、選好ベクトルを得るには発生事象に対する評価が必要となる。発生事象は各主体の戦略の組合せであることから、本研究では発生事象の評価値として対応する戦略のリターン評価値の加算を用い、この評価値が高い発生事象から順に並べた順序列を選好ベクトルとして用いることとする。こうして、旧建設省の発生事象の選好ベクトルは (4, 6, 0, 12, 2, 5, 14, 7, 8,

1, 10, 13, 3, 15, 9, 11)となり、流域住民の発生事象の選好ベクトルは (7, 3, 6, 15, 2, 11, 5, 14, 1, 10, 4, 13, 0, 9, 12, 8)となる。

次に、選好ベクトルから戦略選択モデルの分析に用いる旧建設省の利得行列 $\mathbf{M_1}$、流域住民の利得行列 $\mathbf{M_2}$ を設定する。10 進表記における選好の高い戦略から順番に 15 から 0 までを利得として与え、式(18)の発生事象の対応する位置にその利得を入れたものを利得行列とする。これを次式(31)(32)に示す。

$$\mathbf{M}_1 = \left(\begin{array}{ccccc} & \{\Lambda_{2,1}{}^0,\Lambda_{2,2}{}^0\} & \{\Lambda_{2,1}{}^1,\Lambda_{2,2}{}^0\} & \{\Lambda_{2,1}{}^0,\Lambda_{2,2}{}^1\} & \{\Lambda_{2,1}{}^1,\Lambda_{2,2}{}^1\} \\ \{\Lambda_{1,1}{}^0,\Lambda_{1,2}{}^0\} & 13 & 15 & 7 & 12 \\ \{\Lambda_{1,1}{}^1,\Lambda_{1,2}{}^0\} & 6 & 10 & 1 & 4 \\ \{\Lambda_{1,1}{}^0,\Lambda_{1,2}{}^1\} & 10 & 14 & 4 & 9 \\ \{\Lambda_{1,1}{}^1,\Lambda_{1,2}{}^1\} & 3 & 8 & 0 & 2 \end{array}\right) \tag{31}$$

$$\mathbf{M}_2 = \left(\begin{array}{ccccc} & \{\Lambda_{2,1}{}^0,\Lambda_{2,2}{}^0\} & \{\Lambda_{2,1}{}^1,\Lambda_{2,2}{}^0\} & \{\Lambda_{2,1}{}^0,\Lambda_{2,2}{}^1\} & \{\Lambda_{2,1}{}^1,\Lambda_{2,2}{}^1\} \\ \{\Lambda_{1,1}{}^0,\Lambda_{1,2}{}^0\} & 3 & 5 & 0 & 1 \\ \{\Lambda_{1,1}{}^1,\Lambda_{1,2}{}^0\} & 7 & 9 & 2 & 4 \\ \{\Lambda_{1,1}{}^0,\Lambda_{1,2}{}^1\} & 11 & 13 & 6 & 8 \\ \{\Lambda_{1,1}{}^1,\Lambda_{1,2}{}^1\} & 14 & 15 & 10 & 12 \end{array}\right) \tag{32}$$

例えば、発生事象 4 は旧建設省にとって最も好ましいので、旧建設省はこの事象が実際に起これば利得 15 を得るものとし、式(30)において発生事象 4 に対応する要素 (1, 2) のところを利得 15 と記入する。このようにしてすべての発生事象に対応する利得を記入していく。すなわち、順序数としての選好ベクトルの順位を基数として置き換え利得として用いる。利得とは本来、測定が困難なものであるが、このように選好ベクトルを用いることによって、発生事象に対する絶対的評価ではなく相対的評価に関する情報によって利得行列を設定することが可能となる。この方法はあるひとつの発生事象が他の発生事象に比べ非常に強く好まれているような状況における利得行列の設定には適していない。しかしながら、得られる情報が発生事象間の選好順位程度であるような定性的なコンフリクト分析に対しては有効な方法であると考える。

式(23)(24)に利得行列を適用した結果として、旧建設省に関するものを**図** 9～12 に、流域住民に関するものを**図** 13～16 に、戦略の意味を**表** 5 に示す。なお、ここでは初期設定を各主体の 4 つの戦略に対してそれぞれ 0.25 を与え、初期状態では戦略間に選択の差別はないとした場合について分析を行った。また、横軸の t であるが、これはなんらかの実時間の単位を表すものではない。ここでの分析の目的は各主体の戦略選択確率の変化の連関と収束解を明らかにすることである。もし、得られる収束解がコンフリクトの激化を意味するようなものであれば、何かしらの対応を取ることによって、激化状況を回避することが望ましい。本研究では t に関して実時間の単位を定義していないが、コンフリクト・マネジメントを行っていく上で、少なくとも状況の悪化に向かう現状を改善するための情報を提供するという点で意義があると考える。

表 5：戦略の意味

$z_{1,1}$	旧建設省は計画を見直さず、流域住民に補償を払わない。
$z_{1,2}$	旧建設省は計画を見直し、流域住民に補償を払わない。
$z_{1,3}$	旧建設省は計画を見直さず、流域住民に補償を払う。
$z_{1,4}$	旧建設省は計画を見直し、流域住民に補償を払う。
$z_{2,1}$	流域住民は計画に同意せず、反対運動を起こさない。
$z_{2,2}$	流域住民は計画に同意して、反対運動を起こさない。
$z_{2,3}$	流域住民は計画に同意せず、反対運動を起こす。
$z_{2,4}$	流域住民は計画に同意して、反対運動を起こす。

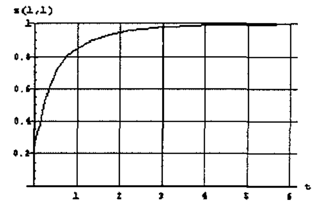

図 9：$z_{1,1}$

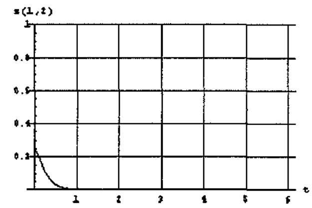

図 10：$z_{1,2}$

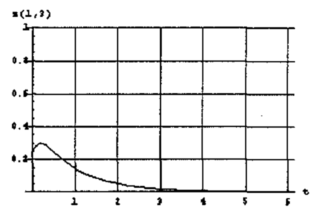

図 11：$z_{1,3}$

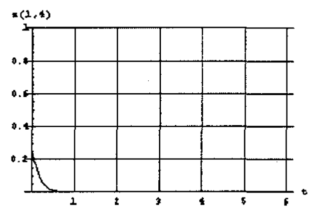

図 12：$z_{1,4}$

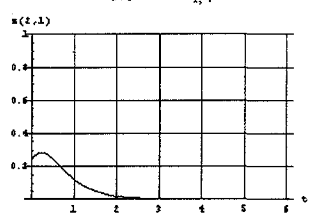

図 13：$z_{2,1}$

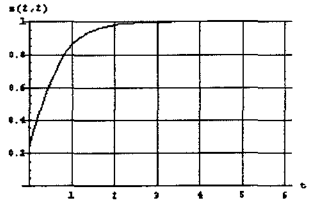

図 14 : $z_{2,2}$

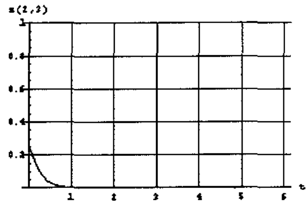

図 15 : $z_{2,3}$

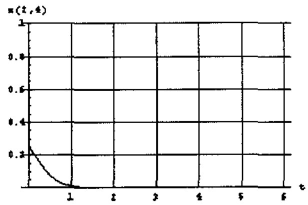

図 16 : $z_{2,4}$

図 9～16 より、最終的には各主体の戦略選択確率は $z_{1,1} \to 1$、$z_{2,2} \to 1$ に収束することが分かる。つまり、$\{\Lambda^0_{1,1}, \Lambda^0_{1,2}, \Lambda^1_{2,1}, \Lambda^0_{2,2}\}$ が選択される確率が 1 に収束し、それ以外は確率が 0 に収束するため選択されないことになる。これは、「旧建設省は計画を見直さず、流域住民に補償を払わない。流域住民は計画に同意して、反対運動を起こさない。」が選択される確率である。以上の設定のもと得られた解は、実際に歴史的事実と符合することが確かめられる。

旧建設省の戦略選択のグラフ図 9～12 より、旧建設省が計画を見直す気は即座に減少していくことが分かる。補償を払うか払わないかに関しては、図 11 より突如として補償を払わない方へ変化していることが分かる。

流域住民の戦略選択のグラフ図 13～16 より、計画に同意するかどうかについて迷っていたと考えられる。それは、図 13 においてグラフが一旦上昇して下降するという解軌道の挙動から解釈することができる。これは、図 11 から分かるように、初め旧建設省は補償を払う気が強かったことが原因であると考えられる。すなわち、流域住民は旧建設省が補償を払うなら計画に同意するという気持ちが強く、実際旧建設省が補償を払おうとしていたので、徐々に計画に同意しないという気持ちが減少していったと解釈できる。

一方、旧建設省は、流域住民が開発に対してどちらかといえば好意的であることを学習し、急激に補償を払わない方へ変化したのではないかと考えられる。

(2) シナリオ分析

(1) 節では構築したモデルを用いて旧建設省と流域住民のコンフリクトを記述し、実際には窺うことのできない当時の旧建設省と流域住民の戦略選択過程をモデル上で観察した。現実のコンフリクトにモデルを適用する際には、まず社会意識調査とコンフリクトの経緯についての調査を通して現実を記述する δ と κ を設定する。その上で図 2 を参照しながら δ と κ を新たにシナリオとして与えることによって、δ と κ によって表される主体の性質の変化と近未来に発生しうる状況との関連分析へ拡張することが可能であると考える。

本節では、このような視点から、以上の歴史分析の結果を踏まえ、パラメータを一部シナリオとして変化させ分析を行う。シナリオとして想定する状況は『旧建設省が開発一辺倒の姿勢から揺らぎだした場合』というものである。このときのパラメータの値を表 6 に、この設定から得られる各主体の意見分布を図 17、18 に示す。

表 6 : パラメータ対応表

パラメータ / 主体	N	δ	κ
1.旧建設省	100	0.1	0.5
2.流域住民	100	0.002	1.1

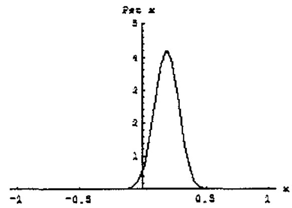

図 17 : 流域住民の意見分布

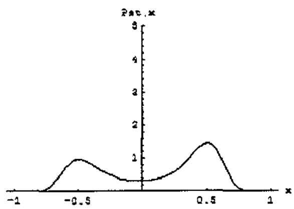

図 18 : 旧建設省の意見分布

旧建設省のパラメータ設定は、δ が正で流域住民よりも大きいことから、旧建設省は流域住民よりも開発を好ましいと思っていることを表している。また、κ が流域住民よりも小さいことから、旧建設省は流域住民よりも集団内の意見の分布型に影響を受けないことを表している。歴史分析で設定したようなデルタ関数ではなく、このようにパラメータを設定することは、旧建設省が集団であり、しかもその内部で意見にばらつきがある主体として捉えている

ことを意味する。メディアを通した旧建設省の姿勢からは、もちろんこのような意見のばらつきは伺えるものではないが、旧建設省が実際に集団であることから、このような意見の分布を仮定することは現実から乖離した想定ではないと考える。流域住民に関しては歴史分析と同様である。

この意見分布から発生事象に対する評価値が**表 7** に示すように得られる。

表7：発生事象に対する評価値

発生事象 / 評価値	$\Lambda_{1,1}^{0}$	$\Lambda_{1,1}^{1}$	$\Lambda_{1,2}^{0}$	$\Lambda_{1,2}^{1}$	$\Lambda_{2,1}^{0}$	$\Lambda_{2,1}^{1}$	$\Lambda_{2,2}^{0}$	$\Lambda_{2,2}^{1}$
1.旧建設省	-	-	0.963	0.024	-	0.013	0.469	-
2.流域住民	0.861	0.23	0.228	0.488	0.299	0.353	0.221	0.051

表 7 における'-'は評価値が非常に微小であることを示すものである。旧建設省にとって'-'ではない値を示す発生事象に比べ、'-'を示す発生事象の評価値はそれぞれ無視しうるほど小さく、旧建設省にとって最も好ましくない発生事象として同様に取り扱うこととする。

以上の設定より得られる旧建設省の利得行列 $\mathbf{M}_1$ を式(33)に、流域住民の利得行列 $\mathbf{M}_2$ を式(34)に示す。流域住民の利得行列は歴史分析に用いたものと同様である。

$$\mathbf{M}_1 = \begin{array}{cc} & \begin{array}{cccc} \{\Lambda_{2,1}^0,\Lambda_{2,2}^0\} & \{\Lambda_{2,1}^1,\Lambda_{2,2}^0\} & \{\Lambda_{2,1}^0,\Lambda_{2,2}^1\} & \{\Lambda_{2,1}^1,\Lambda_{2,2}^1\} \end{array} \\ \begin{array}{c} \{\Lambda_{1,1}^0,\Lambda_{1,2}^0\} \\ \{\Lambda_{1,1}^1,\Lambda_{1,2}^0\} \\ \{\Lambda_{1,1}^0,\Lambda_{1,2}^1\} \\ \{\Lambda_{1,1}^1,\Lambda_{1,2}^1\} \end{array} & \begin{pmatrix} 3 & 5 & 10 & 3 \\ 3 & 5 & 10 & 3 \\ 13 & 14 & 15 & 13 \\ 7 & 8 & 11 & 7 \end{pmatrix} \end{array} \tag{33}$$

$$\mathbf{M}_2 = \begin{array}{cc} & \begin{array}{cccc} \{\Lambda_{2,1}^0,\Lambda_{2,2}^0\} & \{\Lambda_{2,1}^1,\Lambda_{2,2}^0\} & \{\Lambda_{2,1}^0,\Lambda_{2,2}^1\} & \{\Lambda_{2,1}^1,\Lambda_{2,2}^1\} \end{array} \\ \begin{array}{c} \{\Lambda_{1,1}^0,\Lambda_{1,2}^0\} \\ \{\Lambda_{1,1}^1,\Lambda_{1,2}^0\} \\ \{\Lambda_{1,1}^0,\Lambda_{1,2}^1\} \\ \{\Lambda_{1,1}^1,\Lambda_{1,2}^1\} \end{array} & \begin{pmatrix} 3 & 5 & 0 & 1 \\ 7 & 9 & 2 & 4 \\ 11 & 13 & 6 & 8 \\ 14 & 15 & 10 & 12 \end{pmatrix} \end{array} \tag{34}$$

式(33)(34)の利得行列を式(23)(24)に適用した結果を、旧建設省に関するものを**図 19〜22** に、流域住民に関するものを**図 23〜26** に示す。戦略の意味と初期設定については**（1）歴史分析**と同様である。

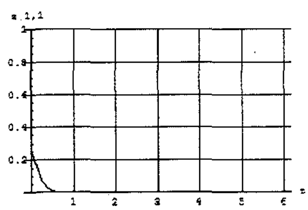

図 19：$z_{1,1}$

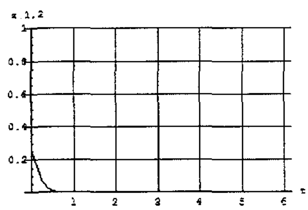

図 20：$z_{1,2}$

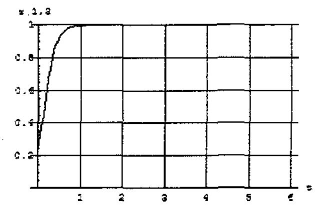

図 21：$z_{1,3}$

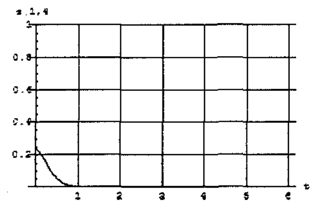

図 22：$z_{1,4}$

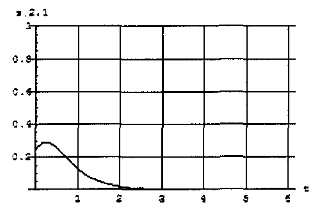

図 23：$z_{2,1}$

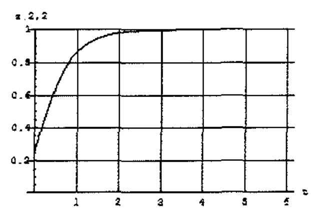

図 24：$z_{2,2}$

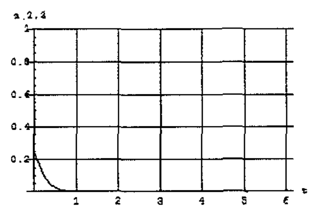

図 25：$z_{2,3}$

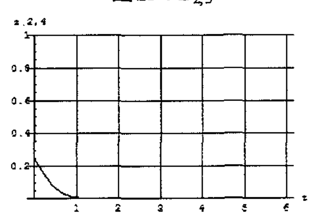

図 26：$z_{2,4}$

図 19〜26 より、最終的に各主体の戦略選択確率は $z_{1,3}\to 1$、$z_{2,2}\to 1$ に収束することが分かる。つまり $\{\Lambda^{0}_{1,1}, \Lambda^{1}_{1,2}, \Lambda^{1}_{2,1}, \Lambda^{0}_{2,2}\}$ が選択される確率が 1 に収束し、それ以外は確率が 0 に収束するため選択されないことになる。これは、「旧建設省は計画を見直さず、流域住民に補償を払う。流

域住民は計画に同意して、反対運動を起こさない。」が選択される確率である。以上の設定のもと得られた解は、歴史分析とは異なるものとなる。

歴史分析において、旧建設省は計画を見直す気は即座になくなり、補償を払うか払わないかで迷う。そして、最終的には補償を払わない方へ変化する。シナリオ分析の結果からは、旧建設省は計画を見直さないことにも、補償を払うことにも迷いはないことが分かる。

一方、流域住民に関しては歴史分析における解挙動と比べて変化はない。つまり、反対運動は起こさないながらも、計画に同意するかどうかについて迷い、そして最終的には計画に同意する。

以上より、想定したシナリオにおいては次のように状況が変化すると考えられる。旧建設省の意見が揺らぎだし、開発寄りではあるが中間的な戦略を最も好むようになると、計画は推進しながらも流域住民に配慮して補償を払うだろう。流域住民は歴史分析のときよりも軟化した旧建設省に対して非協力的になる理由はなく、計画に同意し反対運動を起こさないという戦略を取り続けるだろう。

4．まとめ

本研究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。さらにモデルを長良川河口堰問題へ適用し、歴史分析とシナリオを想定した分析を行った。これより、主体を集団として捉えた場合の、意見分布に対応した解の収束軌道が得られ、またシナリオとして意見分布を変化させた場合の解の変化を見ることが可能となった。

今後の課題は戦略選択確率モデルと集団の意見分布のモデルが相互に影響を及ぼしあうように改良し、内生的に未来を記述するモデルを構築することである。

参考文献

1) Weidlich, W. and Haag, G : Concepts and Models of a Quantitative Sociology, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1983[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].

2) Weibull, J.W. : Evolutionary Game Theory, Massachusetts Institute of Technology, 1995[大和瀬達二監訳，進化ゲームの理論，文化書房博文社，1998].

3) 坂本麻衣子・萩原良巳：大規模開発におけるコンフリクトの展開過程の分析，土木学会環境システム研究論文集，pp.177-182，2000.

4) 開発問題研究所：検証―長良川河口堰，開発問題研究所，1991.

5) 長良川河口堰の建設を進める会編集：長良川の水と生活，山海堂，1990.

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*

坂本麻衣子**・萩原良巳***

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、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。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。本研究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。

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

By Maiko SAKAMOTO ** · Yoshimi HAGIHARA***

The conflict between people insisting on environment and people insisting on development comes to be seen frequently. Management of such conflict and inducing consensus between them must be considered on a future development project. Without such understanding, appropriate development would not be achieved. In this paper, people are defined as groups categorized by some features, and assumed to have distribution of opinions. Then, the conflict incidental to development project is modeled as interactive phenomenon of conflict situation and residents' opinion distribution between development and environment. Through the model analysis, it can be seen how the conflict would reach stable states.