自己言及的手続き選択モデルを用いた決定方式の安定性分析−吉野川第十堰を例として−

田中佑典

指導教員 堀田昌英 准教授

1. 緒言

近年，公共事業に対する賛否の隔たりがその事業の進め方に関する意見の対立にまで及ぶことがあり，吉野川第十堰はその一例である．決め方の合意が形成されないとき，解決策を見出すことは難しい．なぜなら，「決め方の決め方」の正当性を問うと，「決め方の決め方の決め方」の正当性も問われるという無限遡及に陥るからである．本論文の目的は，この問題をメタ決定問題と捉えゲーム論的に定式化し，住民が手続きを自分自身で自治的に選ぶ自己言及的な手続き選択のゲームを考え，その分析的議論から手続きと決定枠組みの設計に対して示唆を得ることである．

2. 自己言及的手続き選択モデル

2.1 モデルの概要

本論文で提案するモデルは，多数決に必要な票数の比率（決定の閾値）を自己言及的に選択する Barbera and Jackson (2004)[1]のモデルを拡張したものである．本研究では，手続きと計画を選ぶ場を委員会と呼び，自己言及的に選ぶ手続きの内容として，委員の数(m) と多数決に必要な票数の比率(s)を決めるゲームを考える．

ダム事業を例として，モデルの構造を説明する．はじめに任意の手続き(m_1,s_1)を設定する．各流域住民 i は，所与の分布を持ったある計画に対する賛成反対の度合い(p_i：計画案αと計画案βがあるときβを好む確率)を属性として有する．全流域住民を，計画案への賛否に関する度合いの類似性に従い，k-means++法[2]により m_1 個のクラスターに分け，代表となる委員を m_1 人選ぶ．そして，選ばれた委員が設定した多数決のもとで，委員の数と必要な票数の比率(s)を(m_1, s_1)から別の(m_2, s_2)に変えるかどうか，すなわち a(手続きを変えない)または b(変える)の 2 案のいずれかに投票し，手続きを決定する．最後に，選んだ手続きにより計画案αまたは計画案βを選ぶ投票を行う．

2.2 手続き選択のゲームの効用

手続き選択のゲームでは，委員は自分の利得がより大きな手続きに投票する．委員の手続きに対する効用は，計画案を選ぶ段階における他の委員の投票行動を考えた上での期待値とする．委員は，自分の投票する計画案が選ばれたときのみ効用 1 を得る．手続き(m,s)において，委員 i が効用を得る状況は，i 以外の委員により計画案βに集まる票の数 k が，①$k>(s\times m)-1$ のときは，自分がβに投票しβが選択されるとき，②$k\leqq(s\times m)$のときは，自分がαに投票しαが選択されるとき, それぞれ委員 i は効用 1 を得る．$k>(s\times m)-1$ となる確率を X, $k\leqq(s\times m)$ となる確率を Y とする．X,Y が求まれば委員の効用が計算でき，手続き選択のゲームの均衡解が求まる．X,Y を計算するためには，他の委員の計画案βに対する賛成，反対の組み合わせをすべて考える必要があり，委員の数が大きいと計算時間上の問題が生じる．よって，本研究ではマルコフ連鎖モンテカルロ法[3]のアルゴリズムを利用して X,Y の近似計算を行った．委員のもつ計画案βを選好する確率 p_i を考慮した確率分布に従い，賛成，反対の組み合わせを z 個作り，$k>(s\times m)-1$ となる場合の数 x と，$k\leqq(s\times m)$ となる場合の数 y を数える．そして，x を z で割った確率を X の，y を z で割った確率を Y の収束値として計算した．本研究では, $m\leqq11$ については直接 X,Y を計算し委員の効用を求め, $m\geqq12$ については近似アルゴリズムで計算した．なお，$12\leqq m\leqq14$ のときは z=2000, $m\geqq15$ のときは z=10000 として委員の効用を求めた．

2.3 自己安定性

外生的に設定した手続きが，手続き自身により選ばれたとき，これをゲームの均衡状態とみなし，自己安定性を満たすと定義する．例えば，手続き(m_1, s_1)のもとで，現在の手続き(m_1, s_1)と別の手続き(m_2, s_2)に対して，委員が手続き選択のゲームをするものとする．委員全員の b への票数を集計し，($m_1\times s_1$)票以下であればその手続き(m_1, s_1) は手続き(m_1, s_1)により選ばれる．以上の作業を，手続き(m_1, s_1)以外のすべての手続き(m_2, s_2)に対して行い，手続き(m_1, s_1)が手続き(m_1, s_1)により選ばれ続けたとき，手続き(m_1, s_1)は自己安定性を満たす均衡解と定義する．

3．結果

3.1 均衡解の類型化

分布 p_i を様々に変化させて均衡解を計算した結果，典型的に 4 つの類型が代表的な手続きとして現れた．

A)中位者が一人で決める．(m=1)

B)対立しているグループ同士から
　一人ずつ委員を選び決める．(m=2)

C)単純多数決により決める．($m\geqq3$)

D)全会一致により決める．($m\geqq3$)

また，本研究では，3 回の試行で 3 回とも均衡解となったもののみを採用した．結果が変わりうるのは，k-means++法に確率的な要素があり，試行ごとに選ばれる委員が変わるためである．各類型に属する手続きと，p_iの分布形によって表される社会の状態との関係は下記の通りである．

1)同質的な社会→現れる均衡解は類型 A

分布 p_iを，平均μ（任意の値），標準偏差 0.008 の正規乱数（n=10000）により作成した．均衡解を表 1 に示す．

2)対立的が穏やかな社会→現れる均衡解は類型 A，B

分布 p_iを，平均 0.25，標準偏差 0.04 の正規乱数(n=5000)と平均 0.75，標準偏差 0.04 の乱数(n=5000)を発生させ，0.5 に対して対称になるように作成した．均衡解を表 2 に示す．

3)対立的が激しい社会→現れる均衡解は類型 A，C

分布 p_iを，平均 0.1，標準偏差 0.002 の正規乱数(n=5000)と平均 0.9，標準偏差 0.0072 の正規乱数(n=5000)を発生させ，0.5 に対して対称になるように作成した．均衡解を表 3 に示す．

4)ばらばらな社会→現れる均衡解は類型 A，B，D

分布 p_iを，平均 0.5 の一様分布の乱数(n=10000)により作成した．均衡解を表 4 に示す．

表 1：均衡解の分布

	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1	A	A	A	A	A	A
2	×	×	×	×	×	×
3	×	×	×	×	×	×
4	×	×	×	×	×	×
5	×	×	×	×	×	×
6	×	×	×	×	×	×
7	×	×	×	×	×	×
8	×	×	×	×	×	×
9	×	×	×	×	×	×
10	×	×	×	×	×	×
11	×	×	×	×	×	×
12	×	×	×	×	×	×
13	×	×	×	×	×	×
14	×	×	×	×	×	×

表 2：均衡解の分布

	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1	A	A	A	A	A	A
2	B	B	B	B	B	B
3	×	×	×	×	×	×
4	×	×	×	×	×	×
5	×	×	×	×	×	×
6	×	×	×	×	×	×
7	×	×	×	×	×	×
8	×	×	×	×	×	×
9	×	×	×	×	×	×
10	×	×	×	×	×	×
11	×	×	×	×	×	×
12	×	×	×	×	×	×
13	×	×	×	×	×	×
14	×	×	×	×	×	×

表 3：均衡解の分布

	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1	A	A	A	A	A	A
2	×	×	×	×	×	×
3	×	×	×	×	×	×
4	×	×	×	×	×	×
5	×	×	×	×	×	×
6	C	C	×	×	×	×
7	×	×	×	×	×	×
8	×	×	×	×	×	×
9	×	×	×	×	×	×
10	×	×	×	×	×	×
11	×	×	×	×	×	×
12	×	×	×	×	×	×
13	×	×	×	×	×	×
14	×	×	×	×	×	×

表 4：均衡解の分布

	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1	A	A	A	A	A	A
2	B	B	B	B	B	B
3	×	×	D	D	D	D
4	×	×	×	D	D	D
5	×	×	×	D	D	D
6	×	×	×	○	D	D
7	×	×	×	×	D	D
8	×	×	×	×	D	D
9	×	×	×	×	D	D
10	×	×	×	×	D	D
11	×	×	×	×	×	D
12	×	×	×	×	×	D
13	×	×	×	×	×	D
14	×	×	×	×	×	D

（縦が委員の数(m)，横が必要な票数の比率(s)を表す）

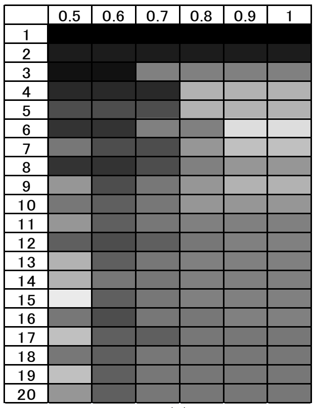
3.2 実事例への適用-吉野川第十堰-

前章で提案した手続き選択ゲームを実際の事例に適用し，本モデルが公共事業のメタ決定問題に与える示唆を検討する．吉野川流域住民の第十堰事業改築事業に関する態度分布 p_i は萩原(2005)[4]が算出した各市町村のデータを元に算出した．なお，5回中 4 回以上均衡解となったものを均衡解として認めた．均衡解を表 5 に示す．均衡解は類型 A,C,D が現れた．均衡解の結果から，ある事業についての意見分布を調査することで，必ずしも自明ではない自己安定的な手続きが具体的に明らかになる可能性が本分析結果より示唆されている．また，流域住民の効用の総和（全体の効用）を色の濃さで表すと表 6 になる．表 5 と表 6 を見比べると，必ずしも均衡解となる手続きが，流域全体の効用を高くするわけではないことが分かる．

表 5：均衡解の分布

	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1	A	A	A	A	A	A
2	×	×	×	×	×	×
3	C	C	×	×	×	×
4	×	×	○	D	D	D
5	×	×	×	×	×	×
6	×	×	×	×	×	×
7	×	×	×	×	×	×
8	×	×	×	×	×	×
9	×	×	×	×	×	×
10	×	×	×	×	×	×
11	×	×	×	×	×	×
12	×	×	×	×	×	×
13	×	×	×	×	×	×
14	×	×	×	×	×	×
15	×	×	×	×	×	×
16	×	×	×	×	×	×
17	×	×	×	×	×	×
18	×	×	×	×	×	×
19	×	×	×	×	×	D
20	×	×	×	×	×	×

表 6：流域全体の効用



（縦が委員の数(m)，横が必要な票数の比率(s)を表す）

4．結論

本論文は，決め方を自らが決める時に安定的となる決定手続きについて考察した．自己安定性の概念を新たに拡張することで代議的意思決定者の数や多数決の閾値など具体的な決め方を決めるための手法を提案した． また，提案したモデルを実事例に適用し，自己安定的な手続きを求めた．その結果，概念と分析手法は多くの現実の事業に適用可能と考えられる．今後の課題としては，i) 委員数と多数決閾値である手続き選択ゲームの要素を，現実の事業枠組みの設計内容と一致させること，ii) 住民の計画案への選好を多次元に拡張した際の理論的含意と現実的な計測可能性を整理すること，iii)本論文で独立に行った決め方の自己安定性評価と，社会厚生状態の評価とを関連づけること，の 3 点が挙げられる．

参考文献

[1] Barbera S and Jackson M O: Choosing how to choose: Self-stable majority rules and constitutions, *Quarterly Journal of Economics*, vol.119, No.3, pp.1011-1048, 2004.

[2] Arthur D, Vassilvitskii S: k-means++: The Advantages of Careful Seeding, *Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms*, pp.1027-1035, 2007

[3] 津田 孝夫：『モンテカルロ法とシミュレーションー電子計算機の確率論的応用〈三訂版〉』，培風館, 1995

[4]萩原 良巳，畑山 満則，坂本 麻衣子，奥村 純平：吉野川第十堰問題におけるプレイヤー抽出とリスク配分に関する研究， 京都大学防災研究所年報, 48(B), pp851-875, 2005.4