京都大学防災研究所年報　第 49 号 B　平成 18 年 4 月
Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No. 49 B, 2006

コンフリクトマネジメントと均衡状態に関する考察

坂本麻衣子*・萩原良巳

* 東北大学東北アジア研究センター

要　旨

本研究では，従来のシステムズ・アナリシスの手順に新たに分析を加え，さらに意思決定の直前にコンフリクトマネジメントを位置づけた適応的計画方法論として水資源計画を捉える。そして，水資源を取りまく利害主体の対立を数学理論を用いてモデル化し，社会的安定性を数学的安定性を通して眺め，水資源コンフリクト問題を分析するための視座を示す。さらに，インド・バングラデシュのガンジス川水利用コンフリクトを事例に，数学的安定性の社会システムにおける現実的意味と，将来的な合意形成の可能性についての考察を示す。

キーワード：コンフリクトマネジメント，水資源計画，システムズ・アナリシス，ゲーム理論，進化ゲームの理論，レプリケーターダイナミクス

1.　適応的計画方法論としての水資源コンフリクトマネジメント

世界的な水不足が懸念されてから久しく，またこれに伴った水争いの頻発も広く危惧されてきた。水資源をとりまくコンフリクトは今後避けられない社会的問題である。降水量の変化といった物理的背景，水需要形態の変化といった社会的背景などを契機として，水資源をとりまくコンフリクトは社会に表出し得る。このようなコンフリクトの発生は社会的リスクとしてより広く認知されるべきであり，リスクであるからにはこれを従前からマネジメントしていくという認識を社会で共有することが重要である。水資源をとりまくコンフリクトに係わるステイクホルダーの社会的リスクの総和を最小とするべくコンフリクトマネジメントに取り組むことが今後肝要であると考えられる。

水資源コンフリクト問題は計画の立案から意思決定までの間に発生する可能性があり，水資源開発計画に対して社会が抱えるリスクのひとつとしてコンフリクトを認識することができる。水資源計画は公共の目的を持ち，その結果は地域の生活者に還元される。そして，その生活者は多様な価値観を持つ集団であり，また，その価値観は時間の経過に伴って変化する。昨今の計画の策定プロセスにおける生活者参加の機運の高まりから，このような地域生活者の多様な価値観を計画に反映することが今後ますます望まれるようになるだろう。様々な価値観を有する人々が計画に関わるようになれば，彼らの間で意見の衝突が起こることになる。したがって，水資源開発計画は，従来のシステムズ・アナリシスの手順（吉川，1975）に新たに分析を加え，さらに意思決定の直前にコンフリクトマネジメントを位置づけた適応的計画方法論として捉えることが必要となる。

コンフリクトが潜在的であるのは，単に降雨量の減少などの物理現象的なトリガーがまだ引かれていないだけということがまずあげられる。これに加え，コンフリクトをコンフリクトであると認識する利害関係者間に偏りがある場合があげられる。つまり，ある状態を一部の利害関係者は権利の競合状態であると認識し，それ以外の利害関係者は自己の権利を行使しているに過ぎないと認識している場合である。このような認識の相違は無意識的に生じる場合もあれば，意識的に生じせしめられる場合もある。この

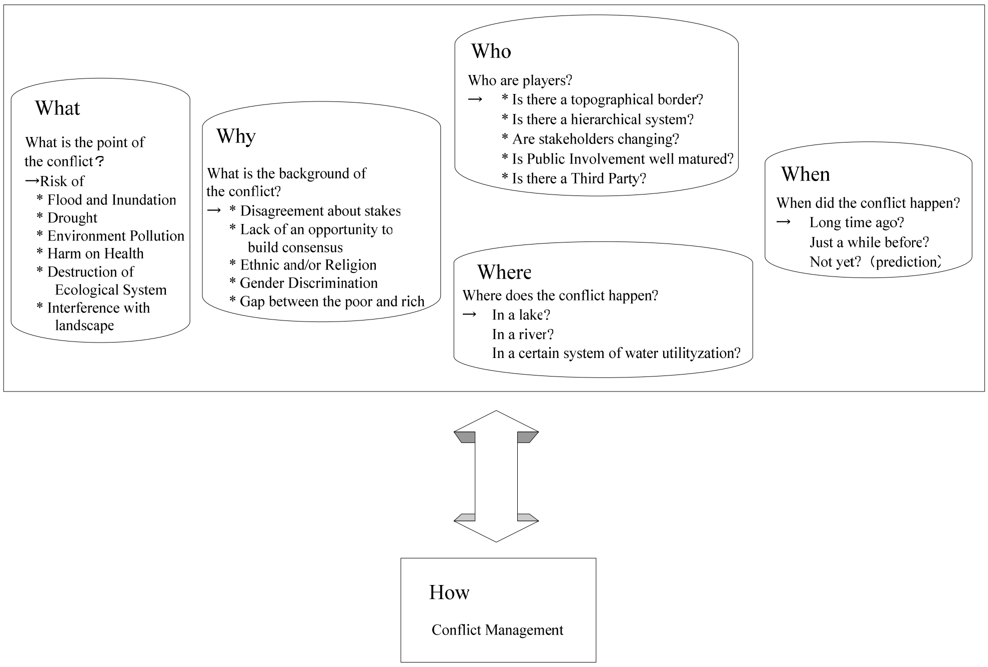

Fig. 1　5W-1H Viewpoints for a Water Resources Conflict

極端な状態は一方の利害関係者の他方に対する「無視状態」と呼べるかもしれない。水資源コンフリクト問題においては，このような状態が発生する原因は往々にして個々の利害関係者が属する社会的背景にある場合が多い。貧富の極端な差のような経済差別問題や性差別，部落，人種などの文化差別問題である。水資源に関するコンフリクトの背景を 5W-1H（When，Where，Who，What，Why，How）の視点でまとめたものを Fig.1 に示す（萩原・坂本，2006）。

たとえば，複数の国が依存する水資源が枯渇し，水不足が発生した場合，多国間での協力という発想が欠けていればコンフリクトの発生は必至であると考えられる。言い換えれば，多国が各々の災害リスクをマネジメントしようとしたとき，マネジメントを行う上での文化や科学的方法を共有できないとき，コンフリクトは発生すると考えられる。もし，水資源の配分方法が不公平である場合，状況はさらに深刻なものとなる。特に河川は水資源の存在形態の中でも水紛争の火種となりやすい。なぜなら，河川は海に流れ出るまでにいくつかの国々を通過し，それらの国々の間に常に上下流の関係を発生せしめるからである。上下流の関係は，水資源が不均衡に共有される絶対的な理由となるといえるだろう。

世界人口の約 40％は 2 カ国以上が共有する約 200 本の河川水系に依存している（Ohlsson, 1996）。すなわち，世界人口 40％の人々が顕在的・潜在的に水資源コンフリクトのリスクにさらされていることになる。社会システムの有する潜在的リスクとして，河川や湖沼の水利用をとりまくコンフリクトをもっと広く認知する必要があると考えられる。

それでは，どのようにコンフリクトをマネジメントすればよいのだろうか？　水資源コンフリクト問題は水資源開発計画を因果として生じる。言い換えれば，コンフリクトは計画の立案から意思決定までの間に発生する可能性があり，水資源開発計画に対して社会が抱えるリスクのひとつとしてコンフリクトを認識することができる。水資源開発計画のために，従来のシステムズ・アナリシスの手順に新たに分析を加え，さらにコンフリクトマネジメントを手順の決定的な部分に位置づけたものを Fig.2 に示す（萩原・坂本，2006）。

Fig.2 のコンフリクトマネジメントでは，まず代替案におけるコンフリクトの存在の可能性を調べ，そして合意の可能性を分析する。この段階で問題がないという結論が出たとしても，まだ意思決定には踏み込まない。意思決定の前に一度生活者の判断を通すことが，公共事業計画としての水資源計画の本来の目的としても，また無意味な税金を使わないという意味でも，そして手続き的公正という観点からも重要であると考えられる。住民だけの判断としては，たとえば吉野川第十堰問題で行われた徳島市の住民投票や，川辺川ダムにおける司法への訴えなどがあげられる。

合意の可能性がない場合，もう一度問題の明確化からシステムズ・アナリシスのプロセスを始めるか，もしくは現状を維持し，社会環境などの外的変化を

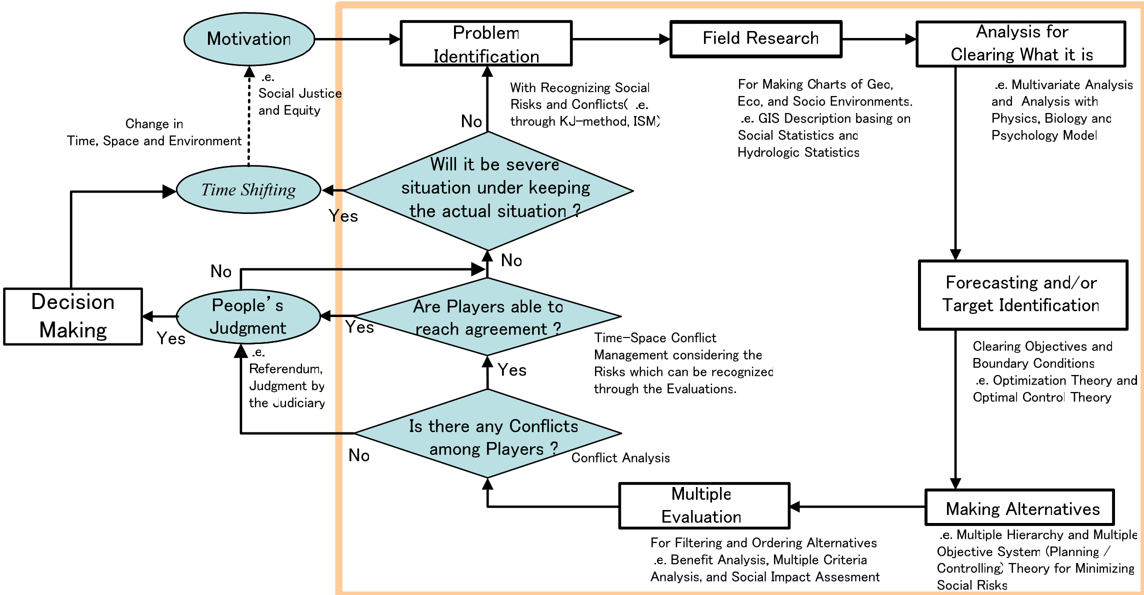

Fig. 2　Systems Analysis with Conflict Management

待つ。ここで現状を維持することは，結果的にずるずると現状に甘んじることを意味するわけではない。地域システムの変化を所与とし，その変化を待ち，それに応じて再びその計画の再構成を合目的に行うのである。逆に，何らかの意思決定が行われた場合は，地域システムが時間と共に変化することを忘れてはならないだろう。変化に応じて改めて将来の計画を立案するのである。このような視点を持ち合わせない計画は柔軟性に欠け，社会のニーズから乖離して当初の目的だけが暴走すれば，新たなコンフリクトの火種ともなりかねない。

システムズ・アナリシスの意思決定を含まないという特徴は，学問としての計画学が（政治的）意思決定という行為と一線を画するという点にある。水資源計画は公共の目的を持ち，その結果は地域の生活者に還元される。そして，その生活者は多様な価値観を持つ集団であり，また，その価値観は時間の経過に伴って変化する。昨今の計画の策定プロセスにおける生活者参加の機運の高まりから，このような地域生活者の多様な価値観を計画に反映することが今後ますます望まれるようになるだろう。様々な価値観を有する人々が計画に関わるようになれば，彼らの間で意見の衝突（コンフリクト）が起こることになる。水資源計画においては，今後世界的には水資源の逼迫が予想されていること，ますます多様な価値観や生存のための戦略が計画にからんでくることを思えば，このようなコンフリクトの発生は避けられないものとなると考えられる。本研究はこのような水資源をとりまくコンフリクトをマネジメントする上での分析方法とその有効性を示すことを目的とする。

2.　水資源コンフリクトマネジメントの定義

ここであつかうコンフリクトを，まず「水資源をとりまく利害関係を有する意思決定主体の間に発生するコンフリクト」と限定する。この上で，「コンフリクト」を，次の 1，2，3 が成立するような不幸な状態であると定義する。

1．複数の意思決定主体が存在し，
2．一部またはすべての意思決定主体の望む状態が異なり，
3．意思決定者らが状態を改善する意志，あるいはそのための機会やきっかけがない，もしくは動機が決定的でない。

もちろん，このようなコンフリクト状態は水資源計画に特定せずとも，計画一般に付随するコンフリクトにこの定義は適用できると考えられる。

こうして定義したコンフリクトをモデル化するために必要な基本構成要素を次の 3 つであると定義する。

1．意思決定主体（プレイヤー）
2．代替案（オプション）
3．（意思決定主体から見た）代替案の評価（プレイヤーの選好順序）

コンフリクトマネジメントとはすなわち，これらコンフリクトの構成要素をマネジメントすることに他ならない。したがって，これら構成要素がマネジメント（総合評価と制御）される対象となる。言い換えれば，これら構成要素は変化させることが可能

であり，逆に，時間経過に伴って変化する要素でもあるといえる。これらの定義と前章のシステムズ・アナリシスに則った計画方法論を踏まえ，水資源コンフリクトマネジメントを次のように定義する。

『将来に向けて複数の主体のコンフリクト極小化を目的とした，主体と彼らの代替案とその総合評価と制御を当事者相互，あるいは第 3 者機関が行い，時間の経過に伴う環境変化を考慮した適応システムである。』

水資源コンフリクトマネジメントを実際に行うためのアプローチは次の 2 つに大きく分類できると考えられる。

1. 当事者間でマネジメントを行う場合
2. 当事者以外の第 3 者機関がマネジメントを行う場合

1 の場合は当事者が議論のテーブルにつく姿勢があり，さらに当事者の間に大きな力関係の差がないことが前提とされるだろう。そうでない場合，当事者だけにコンフリクト問題を委ねても，コンフリクトマネジメントの定義とは程遠いプロセスがくり広げられかねない。

2 に示すようなコンフリクトマネジメントは，1 のような条件が満たされない場合に有効である。現象としては，当事者だけではコンフリクト状況を変化させられず，膠着状態が続くような状況として具現化する。このような場合，コンフリクトは当事者間での解決が困難なため，第 3 者機関の介入が必要となる。もし，第 3 者機関によるコンフリクトマネジメントがなされない場合，最悪の場合には戦争へと発展してしまう可能性もある。したがって，ここでは当事者間に交渉の余地がないという点でより危機的なコンフリクトを対象としていると考えられる 2 に特に着目して，以下そのマネジメント（Sakamoto and Hagihara，2005）について考えることとする。

コンフリクトに第 3 者機関が介入する際には，まずプレイヤーが彼ら自身でコンフリクトを解決できるか，あるいはコンフリクト状況を変化させられるかを考える。いずれかが Yes であれば，第 3 者機関の介入は着目するコンフリクトにおいて必要とされない。もし，プレプレイヤー自身でコンフリクトを改善することもできず，またコンフリクト状況が膠着してしまい変化が見られないようならば，新たな主体の自発的なコンフリクトへの参加，もしくは現在コンフリクトに関与しているプレイヤーからの要請による新たな主体の参加を考える。このとき，その新たな参加主体がコンフリクトに対して自らの選好を有しているならば，その主体は通常の紛争における意思決定者（プレイヤー）と考えられる。一方，もし主体が選好を持っていないならば，その主体は第 3 者機関である。このようにプレイヤーと第 3 者機関を明確に区別することで，第 3 者機関と名乗りながらも恣意的にコンフリクトを操作しかねないプレイヤーの可能性を排除している。ここでは第 3 者機関は中立であり，状態に対して選好を持っていないと仮定しているため，新たな参加主体がプレイヤーならば，コンフリクトの設定を再設定し再び分析を行えばよい。プレイヤーでありながら第 3 者機関と名乗る主体は，すなわち自身の選好に対し虚偽の表明をする主体であり，このような可能性を考えた場合には新たなコンフリクト分析のフレームが必要となる（榊原，2001）。本研究ではこのような可能性は考慮せず，第 3 者機関はコンフリクトの状況に対して中立であると仮定する。

上述のマネジメントの対象と同様に第 3 者機関のマネジメントにおいても，プレイヤーの変化，オプションの変化，選好順序の変化がマネジメントの対象となる。これら変化の有無の組み合わせを考えると，8 通りのコンフリクトマネジメントの方法があるといえる。これにさらに時間軸の変化の有無を考慮すれば，16 通りのコンフリクトマネジメントの方法が考えられる。ここでは，これらのうち現実的に可能であると考えられる 3 つの方法に着目し，仲裁者（Arbitrator），調整者（Coordinator），寄贈者（Donor）という役割に着目して 3 つの第 3 者機関を考案する。

これら第 3 者機関の役割に階層関係はなく，直面するコンフリクトによって，コンフリクトの背景を踏まえて適切であると考えられる第 3 者機関の役割を選択する場合もあれば，すべての役割について分析し，結果を比較して役割を選択する場合もある。

すなわち第 3 者機関の役割は同等であり，いずれかを率先して用いるべきであるという意図はこれら役割のうちには存在しない。また，マネジメントを行う際には，3 つの役割のうちのひとつに限定するばかりではなく，役割を段階的に組み合わせたマネジメントのアプローチも可能であろう。

ここで提案する第 3 者機関の介入によるコンフリクトマネジメントのコンセプトにおいて重要なことは，最も適した第 3 者機関の役割を明らかにするということではなく，第 3 者機関が介入した際のマネジメント・プロセスを明確にし，コンフリクトマネジメントの可能性を分析することにある。

着目する 3 つの第 3 者機関の役割の定義を以下に示す。

a) 仲裁者

仲裁者はコンフリクトの構造を変化させることはないが，プレイヤーの行動を規制し，コンフリクト

の状態を制御するというマネジメントを行う第 3 者機関である。

b) 調整者

調整者は，コンフリクトに対して何らかの選択肢を提供し，直ちにコンフリクトの構造を変化させるというマネジメントを行う第 3 者機関である。調整者はあたかもプレイヤーのように選択肢を携えコンフリクトに参加するが，自らはコンフリクトのいかなる状態に対しても選好を持たない。これは，マネジメントをする第 3 者機関は中立であるべきであるという認識にもとづいてなされる仮定である。この点において，調整者は従来のプレイヤーの枠組みを越えたコンフリクトへの参加者として位置づけられる。調整者の役割は，コンフリクトの改善状態を実現するために必要となる他のプレイヤーの選好の変化を生じさせるに足る選択肢を提供することである。調整者はプレイヤーらがお互いに抱く不信感により到達できなかったコンフリクトの改善状態を実現するために，選択肢を提供することによってプレイヤーらの選好を間接的に変化させ，プレイヤー間に信頼を醸成する助けをする。

c) 寄贈者

寄贈者はプレイヤーの選好を長期的なスパンで変化させ，コンフリクトの構造を変化させるというマネジメントを行う第 3 者機関である。寄贈者の操作変数としては，治水・利水に対する忘却率や，プレイヤーの相互影響力などが考えられる。寄贈者は，プレイヤーの価値観を変化させるという意味においてコンフリクトの本質的な改善を模索する第 3 者機関あるといえる。

3. 数学的安定性と社会的安定性の関連

社会は多数の構成要素が複雑に絡み合い変化していく。社会現象を考える場合，社会を取りまくあらゆるものを考慮することは人智を超えている。そこで，社会の構成要素と構成要素間の関係のうち，本質的なものに着目して社会システムをモデル化することによって社会を捉え，現象を近似し，単純化して認識する。単純でありながらも社会現象の本質を適確に表現したモデルは，多くの構成要素を考慮した複雑なモデルよりも，ときに雄弁に現象を語る。現象をモデル化する 1 つの方法として，数学的なアプローチがあげられる。社会をモデルとして捉えて数学的に記述し，さらにその安定性を数学的に考察するためには，多くの仮定をおいたモデル化が必要となる。

社会システムを理解する上で，数学モデルを用いて分析を行う研究は数多く存在する。利害の対立する主体間の競合問題のモデル化に際しては，「微分方程式」「ゲーム理論」などが広く利用されている。ここで，数学モデルを基礎に議論を進める場合，数学的安定性によって社会的安定性をどこまで語れるものなのか，という疑問が湧いてくる。一般に数学的安定性と言っても種々の安定性が存在する。社会システムを数学モデルにおける安定性によって論じようとするならば，どのような社会システムを想定しているのか，いかなる社会システムの安定を念頭においてモデル化を行うのか，また着目する安定性の示す数学的概念はどのようなものなのか，対象とする社会システムの安定と数学的安定の'ずれ'が存在するとすればどのような点なのか，など認識しておくべきことがらは多い。

本研究ではコンフリクトを分析するための数学理論として，「微分方程式」「ゲーム理論」「進化ゲームの理論」「序数型非協力ゲーム理論」を用いる。以下では，これら理論における安定性の要約を示し，その関連を整理する。

3.1 ゲーム理論における安定性

ゲーム理論における一般的な均衡状態としてはナッシュ均衡がある。以下の議論のために，記号や集合，関数についての定義を示す。

$i \in I$ をプレイヤーの集合，S_i はプレイヤー $i \in I$ の純粋戦略集合であり，Δ_i はその混合戦略集合，Θ は混合戦略集合 Δ_i によって張られる混合戦略空間，そして $u_i(x)$ は $x \in \Theta$ がプレーされるときのプレイヤー i の利得を表す。

混合戦略 $x \in \Theta$ がナッシュ均衡であるとは，他のプレイヤーの戦略に対して最適であり，かつそれが自分自身に対しても最適である戦略によって構成される。すなわち，プレイヤー i の戦略 x_i が，プレイヤー i 以外のプレイヤーの混合戦略 y_{-i} に対して得る利得を $u_i(x_i, y_{-i})$ と表し，プレイヤー i の混合戦略最適反応 $\tilde{\beta}_i(y)$ を

$$\tilde{\beta}_i(y) = \{x_i \in \Delta_i : u_i(x_i, y_{-i}) \geq u_i(z_i, y_{-i})\ \forall z_i \in \Delta_i\} \quad (1)$$

と表せば，ナッシュ均衡は

$$x \in \tilde{\beta}_i(x) \quad (2)$$

を満たす戦略 x と表すことができる。言い換えれば，$x \in \Theta$ が混合戦略最適反応 $\tilde{\beta}_i(y)$ の不動点であるときナッシュ均衡であるという。なお，$-i$ はプレイヤー i 以外のプレイヤーを表し，混合戦略最適反応 $\tilde{\beta}_i : \Theta \to \Delta_i$ とは，各混合戦略 $x \in \Theta$ を，y に対する純

粋最適反応によって張られるΔ_iの面に写すものである。そして，プレイヤーiにとって最適反応である戦略とは，式(1)が示すように，固定された他のプレイヤーの戦略に対して，プレイヤーiにとってより高い利得をあげる戦略が他に存在しないような戦略を意味する。

また，ナッシュ均衡のうちで，それが x に対する唯一の最適反応である場合，すなわち，

$$\{x\} = \tilde{\beta}_i(x) \tag{3}$$

ならば，特に強ナッシュ均衡であるという。ただし，｛・｝は集合の要素を表し，式(3)においては，その要素が1つしかないことを意味している。混合戦略の範囲において，すべてのゲームはナッシュ均衡点を持つ（Nash，1950）。

3.2　進化ゲームの理論における安定性

進化ゲームの理論は Maynard Smith and Price（1973）によって開発され，生物学の分野で発展してきた。モデル化においては，ダーウィンの最適者生存の概念，すなわち，適応的な種は外生的な環境に依存して徐々に選択されていくという概念を前提とし，優位な遺伝子が継承されていくようなプロセスを分析する体系を提供する。進化ゲームの理論において前提とされるこのような合理性は，通常のゲーム理論における効用最大化という合理性とは異なり，個々のプレイヤーにとって外生的な環境に依存して，すなわちここでは他のプレイヤーの戦略選択の状況や利得行列に依存して，徐々に適応的な種が選択されていくという点で限定的なものである。

レプリケーターダイナミクス（replicator dynamics）（Weibull, 1995）は連続時間における種の選択プロセスを微分方程式系としてモデル化するものである。なお，レプリケーターとは，一般的に複製物を意味し，生物学的には遺伝子の継承を意味する語である。すなわち，レプリケーターダイナミクスは進化ゲームの理論における前提を基礎に，進化のプロセスをダイナミックに定式化するものである。レプリケーターダイナミクスにおける安定性は，進化ゲームの理論における集合に対する進化的安定性基準と関連づけて議論され，その枠組みで位置づけられている。

レプリケーターダイナミクスは優位な遺伝子が継承されていくようなプロセスを分析するためのモデルである。言い換えれば，ある集団内部での諸戦略の選択についての分布の変化をモデル化し，これを分析する体系を提供する。レプリケーターダイナミクスの導出の際に重要となる仮定は次の 2 つである。

1. 利得とは，ゲームをプレーすることで得られるプレイヤーの適応度の増加（減少）効果を表すものである。また，この適応度とは，単位時間あたりに増加する集団内の個体数で測られる。
2. 集団から個体がランダムに選択され対戦する。これが何度もくり返される。

このような仮定のもと，以下ではレプリケーターダイナミクスの定式化を示す。まず，単一集団におけるレプリケーターダイナミクスの導出を説明する。

$K=\{1,\ldots,k\}$を純粋戦略の集合，$i\in K$をその要素である純粋戦略，Δを混合戦略集合，uを利得関数とする。また，$p_i(t)\geq 0$をその時点で純粋戦略$i\in K$をとる集団を構成する個体の数とし，総個体数を$p(t)=\sum_{i\in K} p_i(t)>0$とする。これに対する集団状態を，ベクトル$x(t)=(x_1(t),\ldots,x_k(t))$で定義する。ここで，各成分$x_i(t)$は$t$時点における純粋戦略$i$をとる集団の割合，つまり，$x_i(t)=p_i(t)/p(t)$である。このようにして，$x(t)\in\Delta$であり，形式的に各戦略に割り当てる確率分布を戦略とする混合戦略と同一となる。

また，集団が状態$x(t)\in\Delta$にあるとき，任意の純粋戦略$i\in K$と対戦したときに得られる期待利得を$u(e^i,x)$と書くこととする。ただし，e^iとは，純粋戦略$i\in K$に確率1を割り当てた混合戦略を意味する。

このとき，集団の平均利得は，次式となる。

$$u(x,x)=\sum_{i=1}^{k} x_i u(e^i,x) \tag{4}$$

ここで仮定より，利得とはゲームをプレーすることで得られるプレイヤーの適応度の増加（減少）効果を表すものであり，より具体的には$u(e^i,x)$は単位時間，単位個体数あたり増加する個体数を表すものであるとする。これより，純粋戦略$i\in K$をとる個体数の時間変化は次のように記述できる。

$$\frac{dp_i}{dt}=u(e^i,x(t))\,p_i \tag{5}$$

集団の個体数と集団の割合の関係式，

$$p(t)x_i(t)=p_i(t) \tag{6}$$

を微分して，式(5)を代入し，また集団平均利得の概念から式(7)を用いると，式(8)が導かれる。

$$\frac{dp}{dt}=u(x,x)\,p \tag{7}$$

$$p\frac{dx_i}{dt}=\frac{dp_i}{dt}-\frac{dp}{dt}x_i=u(e^i,x)\,p_i-u(x,x)\,px_i \tag{8}$$

式(8)の両辺をpで割って，$x_i=p_i/p$を用いると，

次式を得る。

$$\frac{dx_i}{dt}=[u(e^i,x)-u(x,x)]x_i \tag{9}$$

つまり，純粋戦略$i \in K$をとる集団の割合の変化率$\frac{dx_i}{dt}/x_i$は，その戦略のその時点での利得（適応度）と，その集団におけるその時点での平均利得（適応度）の差に等しい。したがって，平均より良い戦略をとる部分集団は増加し，平均より悪い戦略を取る部分集団は減少することとなる。この式(9)をレプリケーターダイナミクスと呼ぶ。式(4)から，利得$u(x, y)$はxに対して線形であることを利用すると，利得は式(9)より次式のように簡潔に書ける。

$$\frac{dx_i}{dt} = u(e^i - x, x)x_i \tag{10}$$

次に，単一集団ゲームから複数集団へとレプリケーターダイナミクスを拡張する。以下では，$I = \{1, \ldots, n\}$をプレイヤーの集合，S_iはプレイヤー$i \in I$の純粋戦略集合であり，Δ_iはその混合戦略集合，Θは混合戦略集合Δ_iによって張られる混合戦略空間，そして$u_i(x)$は$x \in \Theta$がプレーされるときのプレイヤーiの利得を表すこととする。

まず，集団状態は混合戦略空間Θの点$x = (x_1, \ldots, x_n)$で表されるとする。ここで，各成分Δ_iは対応する混合戦略集合Δ_iの点であり，それはプレイヤー（集団）iの個体の分布状況を表すものである。したがって，ベクトルx_iは，時点tでのプレイヤー集団$i \in I$の状態であり，また，$x_{ih} \in [0,1]$は集団iにおけるその時点で純粋戦略$h \in S_i$を選択する個体の割合と考えることができる。

このような設定のもとで，複数集団におけるレプリケーターダイナミクスは式(9)と同様な形式で次式のように定式化される。なお，以下では$-i$はプレイヤーi以外のプレイヤーを表すこととする。ただし，e_i^hとは，プレイヤーiの純粋戦略$h \in S_i$に確率1を割り当てた混合戦略を意味する。

$$\frac{dx_{ih}}{dt} = [u_i(e_i^h, x_{-i}) - u_i(x)]x_{ih}, \ x_{ih} \in [0,1] \tag{11}$$

式(11)は標準n集団レプリケーターダイナミクス（standard n-population replicator dynamics）と呼ばれる。

式(9), (11)において純粋戦略iをとる集団の割合の変化率$\frac{dx_i}{dt}/x_i$，$\frac{dx_{ih}}{dt}/x_{ih}$は，その戦略のその時点での利得（適応度）と，その集団におけるその時点での平均利得（適応度）の差$u(e^i, x) - u(x, x)$，$u_i(e_i^h, x_{-i}) - u_i(x)$に等しいとして表される。これらは前述のレプリケーターダイナミクスにおける2つの仮定から導出される。仮定2「集団から個体がランダムに選択され対戦する」をおくことで，集団の平均利得を確率の概念を用いて定義することが可能となる。すなわち，集団の平均利得の仮定は，ランダムな個体選択とその繰り返しを前提とすることに他ならない。

以上は，生物学的な集団内部での諸戦略の生き残りに関するモデル化であった。このモデルを社会システムに適用することを以下で考える。式(9), (11)を生物学的な集団のモデルとして特徴づけているものは，モデル化の初めに置いた2つの仮定に他ならない。そこで，まず前提1と2を次のように置きなおすことで，式(9)，(11)を社会システムに適用可能なモデルとする。

1'．利得とは，個人の効用や満足度が単位時間あたりに増加する変化の割合であるとする。

2'．集団同士は対話をくり返し，相互理解を深める。

ここで，条件2'は条件2と同様にランダムな個体選択とそのくり返しが前提とされるが，人間集団においてこの前提は，人と人が接することによって対話をくり返し，これによって集団はそれぞれの利得行列と戦略選択状況を知り，相互理解を深めることを意味すると解釈できる。

さらに，2つの前提1と2から導かれた式(9)，(11)の結果を前提とすれば，個人の戦略選択の変化過程のモデルとして用いることが可能となる。すなわち，1と2から導かれたレプリケーターダイナミクスの導出の結果とは，戦略選択確率の変化率は平均利得を超える超過利得に等しい，というものである。したがって，式(9)，(11)を個人に適用する場合の前提は，

1''．利得とは，個人の効用や満足度が単位時間あたりに増加する変化の割合であるとする。

2''. 個人同士は対話をくり返し，相互理解を深める。

3''．戦略選択確率の変化率は平均利得を超える超過利得に等しい。

となる。1''と2''は，それぞれ1と2，また1'と2'に対応するものであり，仮定の前提となる背景は同様である。3''は1と2から導かれたレプリケーターダイナミクスの導出の結果となる。以上3つの仮定より，戦略に割り当てられる確率x_iを，通常のゲーム理論においてプレイヤーが戦略に割り当てる確率のように，混合戦略的に解釈することができる。こうして，「対話による相互理解」を前提とした社会システムにおけるプレイヤー（個人や集団）の戦略選択確率の変化過程が式(9)，(11)のようにモデル化されたことになる。

レプリケーターダイナミクスは非線形微分方程式で記述されるので，ここでは微分方程式系におけ

る安定性と進化ゲームの理論における集合に対する安定性を示す。

微分方程式系の安定性としては「リヤプノフ安定性(Liapnov stability)」と「漸近安定性(asymptotic stability)」がある（ここではともに局所的なものを扱う)。微分方程式系における最も基本的な安定性の概念はリヤプノフ安定性であり，しばしば簡単に「安定性」と呼ばれる。

状態 x がリヤプノフ安定であるとは「状態 x に対するどんな小さな摂動も，状態 x から離れていくような動きを生み出さない」ことを指す。さらに頑健な安定性として漸近安定性がある。漸近安定性は，その状態に（局所的に）向かっていくことを要求する。つまり状態 x が漸近安定であるとは，それが「リヤプノフ安定であり，かつ状態に対するどんな十分小さな摂動も，状態 x に戻す動きを生み出す」ことをいう。これらの安定性は個々の状態あるいは状態の集合に適用される。これらの数学的な定義を次に示す。

ここでは，次のように記述される k 個の系の 1 階の常微分方程式を考える。

$$\frac{dx}{dt}=\varphi(x)=(\frac{dx_1}{dt},\cdots,\frac{dx_k}{dt}) \tag{12}$$

φ はある開集合 $X\subset R^k$ から R^k への写像である。$x=(x_1,\cdots x_k)\in X$ は状態ベクトル（state vector），X は状態空間（state space）であり，式(12)の右辺は状態空間 X の各点 x での状態の変化の方向と速さを特徴づけている。この関数 φ をベクトル場（vector field）と呼ぶ。状態 x の各成分 x_i に対し，φ_i はその時間微分である。このとき，式(12)の（局所的）解を，時間 t と状態 x を変数とするある関数 $\xi(t,x)$ を用いて，次式の条件を満たすものであると定義する。なお，次式において T は $t=0$ を含む 1 つの開区間であるとする。

$$\xi(t,x^o):T\to X \tag{13}$$

式(13)は，$\xi(0,x^o)=x^o$ であるような1点 $x^o\in X$ を通り，任意の t から写像される状態 x が常に存在することを意味している。

次に，式(12)におけるリヤプノフ安定と漸近安定を定義する。この準備として，いくつか数学的な用語の定義を示す。

まず，点 x と点 x_0 との距離（distance）は，2点間の距離の最小値によって測られる。このとき，ある与えられた任意の正数 ε に対して，

$$d(x_0,x)<\varepsilon \tag{14}$$

を満足する点 x の集合を点 x_0 の近傍（neighborhood）と呼ぶ。

状態 $x\in C$ がリヤプノフ安定であるとは，x のどんな近傍 B も x のある近傍 B^o を含み，すべての $x^o\in B^o\cap C$ と $t\geq 0$ に対し，次式が成り立つことをいう。

$$\xi(t,x^o)\in B \tag{15}$$

すなわち，状態 x の近傍 B^o に含まれるすべての x_0 は，x の近傍 B^o をすべて包含する近傍 B から，時間の経過によって「離れることがない」とき，状態 x はリヤプノフ安定であるという。

状態 $x\in C$ が漸近安定であるとは，それがリヤプノフ安定であり，かつある近傍 B^* があって，次の式(16)がすべての $x^o\in B^*\cap C$ に対し成立することをいう。

$$\lim_{t\to\infty}\xi(t,x^o)=x \tag{16}$$

すなわち，状態 x の近傍 B^* に含まれるすべての x_0 が時間の経過によって状態 x に「収束する」とき，状態 x は漸近安定であるという。

明らかに，状態 x が安定であるためには，x は定常状態でなければならない。もし，そうでなければ，解 ξ は摂動がなくても x から離れていってしまうからである。

時間の経過による社会システムの初期条件や境界条件の変化が避けられない以上，このような変化を摂動と捉え，計画を立てる上で制御を考慮するなど摂動に対して頑健な漸近安定性に着目することが望ましいものと考えられる。しかし，漸近安定性を満たすための数学的条件は非常に厳しく，これを満たすのが困難な場合，リヤプノフ安定性を用いることとなる。このとき，摂動（たとえばプレイヤーの合理性に関する微小な不安定さやプレイヤーの利得の認知に関する不確実性が想定される）によって想定している安定状態からの乖離が起こり得ることを少なくとも認識しておく必要があるものと考える。そして，漸近安定とリヤプノフ安定への収束を分離する条件に関する分析も計画を行う上で重要であろう。すなわち，これは計画目標とその前提条件を明らかにすることに他ならない。このような点を認識しながらリヤプノフ安定性に着目して設計された計画は，柔軟性のある計画として捉えることもできる。

進化ゲームの理論における安定状態としては進化的安定(evolutionary stability)がある。既存混合戦略 $x\in\Theta$ の中に突然変異戦略 $y\neq x$ がある割合 ε で浸入し，これによって集団全体は $w=\varepsilon y+(1-\varepsilon)x$ という戦略の混合集団となったとする。このような突然変異戦略 y がある割合 $\varepsilon_y\in(0,1)$ 以下で浸入するならば，

あらゆる戦略 $y\neq x$ に対して，ある $\varepsilon_y\in(0,1)$ が存在

し，すべての $\varepsilon \in (0, \varepsilon_y)$ に対して，次式がある $i \in I$ について成立するとき，混合戦略 $x \in \Theta$ は進化的に安定であるという。

$$u_i(x_i, w_{-i}) > u_i(y_i, w_{-i}) \tag{17}$$

すなわち，浸入後集団混合において，突然変異戦略 y よりも良い既存戦略 x が少なくとも 1 つ存在するならば，このとき戦略 x は進化的に安定であるという。戦略 x が進化的に安定であるための突然変異戦略 y の割合の閾値 ε_y は侵入障壁と呼ばれる。

3.3　序数型非協力ゲーム理論

序数型非協力ゲーム理論（Graph Model for Conflict Resolution, GMCR）（Fang et. al, 1993）は異なるプレイヤーの選好のもと，事象をその安定性により分類するアルゴリズムと安定性の概念を提供する。GMCR においては，N 人のプレイヤーがコンフリクトに参加し，それぞれが行動の選択肢であるオプションを有する。オプションに関する各プレイヤーの実行の有無の組み合わせを戦略と呼ぶ。そして，すべてのプレイヤーの戦略の組み合わせを事象と呼ぶ。事象を各プレイヤーが好ましいと思う順に並べた順序列を選好順序と呼ぶ。

まず，$\mathbf{U}$ をすべての事象の集合とする。R_i はプレイヤーi ($i \in \mathbf{N}$)の可達事象に関する情報を示し，プレイヤーi の事象 k から事象 q への移行を次の式(18), (19)で示すように 0,1 で表す。

$$R_i(k,q) = \begin{cases} 1 \text{ if player}_i \text{ can move (in one step)} \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases} \tag{18}$$

$$R_i(k,k) = 0 \tag{19}$$

なお，$k \neq q$ であり，また，この移行はプレイヤーi が単独で，かつ 1 ステップで行うもののみを考慮している。

プレイヤーi にとっての可達行列 $\mathbf{R_i}$ はこの R_i を要素とする行列である。

プレイヤーi にとって，$\mathbf{S}_i(k)$は事象 k から 1 ステップで移行可能な事象の集合を表し，可達集合と呼ぶ。これは次式のように定義される。

$$\mathbf{S}_i(k) = \{q : R_i(k,q) = 1\} \tag{20}$$

可達行列 $\mathbf{R_i}$ を用いて unilateral improvement（以下，単独改善と呼ぶ）を定義する。プレイヤー i が事象 k から単独で戦略を変更することによって到達できる事象のうち，初期事象 k よりもプレイヤーi にとって好ましい事象を単独改善と呼ぶ。次式(21)で表される R_i^+を用いてプレイヤーiの可達行列を $\mathbf{R_i^+}$として再定義する。

$$R_i^+(k,q) = \begin{cases} 1 \text{ if } R_i(k,q) = 1 \, and \, P_i(q) > P_i(k) \\ 0 \text{ otherwise.} \end{cases} \tag{21}$$

なお，$P_i(k)$はプレイヤーi の事象 k に対する選好を表す。同様に，プレイヤーi の可達リスト $\mathbf{S}_i^+(k)$を R_i^+ を用いて次のように再定義する。このとき，$\mathbf{S}_i^+(k)$が単独改善となる。

$$\mathbf{S}_i^+(k) = \{q : R_i^+(k,q) = 1\} \tag{22}$$

以上を用いて，GMCR における解概念を定義する。GMCR では，ナッシュ安定性，general metarationality，symmetric metarationality，sequential stability，limited-move stability，nonmyopic stability，Stackelberg stability といった種々の解概念が考慮されている。ここでは，これら解概念のうち最も基本的かつ重要である以下の 2 つについて考慮し，分析を行う。

ナッシュ安定性：事象 $k \in \mathbf{U}$ がプレイヤーi にとってナッシュ安定であるとは，$\mathbf{S}_i^+(k) = \varnothing$ のときであり，かつそのときに限る。すなわち，プレイヤーi が事象 k よりも好ましいどの事象にも移行できないとき，事象 k はプレイヤーi にとってナッシュ安定であるという。

Sequential Stability : プレイヤーi に対して事象 k が sequentially stable であるとは，プレイヤーi の事象 k からの単独改善が他のプレイヤーの 1 ステップもしくはそれ以上の連続的なステップの単独改善によって，事象 k よりもプレイヤーi にとって好ましくない状況へ押し込まれてしまい，プレイヤーi が事象 k からの移行を思いとどまらざるをえない場合をいう。すなわち，プレイヤーi にとって事象 k が sequentially stable であるとは，プレイヤーi のすべての単独改善 $k_1 \in \mathbf{S}_i^+(k)$ に対して，$P_i(k_x) \le P_i(k)$ であるような他のプレイヤーの単独改善 $k_x \in \mathbf{S}_{N-i}^+(k_1)$ が少なくとも 1 つ存在することである。

プレイヤーは自らの利得を最大化するべく戦略を選択し，また他のプレイヤーも同じように振舞うと考えている。このとき，すべてのプレイヤーに対していずれかの安定性を保持する事象がコンフリクトの均衡解となる。

3.4　数学的安定性の関連

以上の微分方程式系，ゲーム理論，進化ゲームの理論，GMCR における安定性の関連は Fig. 3 のようにまとめられる。なお，以下の議論は n 人プレイヤー（集団）を前提とするものである。GMCR における均衡解は均衡だから定常であり，GMCR の解集合

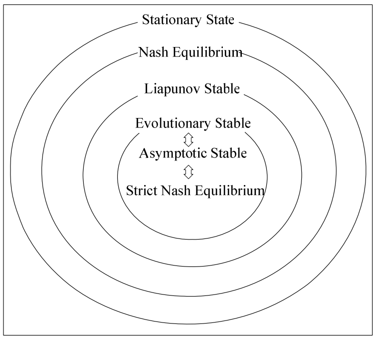

Fig. 3　Relationship of Mathematical Stability

は Fig. 3 における定常状態の集合に包含される。GMCR の均衡解の集合は，微分方程式系，ゲーム理論，進化ゲームの理論における均衡解の集合よりも大きくなる。なぜなら，ナッシュ均衡以外の GMCR における安定性では最適反応を前提としないためである。つまり，GMCR においては，着目している事象 k よりもプレイヤー i にとって好ましい事象があったとしても，他のプレイヤーがそこからさらに他の事象に移行し，結局，プレイヤー i にとって元の事象 k よりも好ましくない事象に移行してしまうとき，プレイヤー i は事象 k にとどまっておく方が良いので，プレイヤー i が事象 k から移行する理由がないとし，事象 k をプレイヤー i に対して安定であるとする。しかしながら最適反応という前提では，そもそも着目している事象 k よりもプレイヤー i にとって好ましい事象があるという点で事象 k はまず排除されるのである。したがって，必然的に GMCR においては多数の均衡解を得ることとなる。多くの均衡解が得られると，コンフリクトをマネジメントする場合に，いずれの均衡解を是とし，またどのようにその均衡解へ向かわせるかということが問題となる。

コンフリクトマネジメントの目標地点として，すべてのプレイヤーにとって現状よりも良い状況があれば良いが，そのような状況がなく，移行可能な状態がプレイヤー間でトレードオフにある場合も多い。この場合，コンフリクトマネジメントの目標の設定として，社会的安定性に着目することが考えられる。社会的安定状態としては，最も頑健な安定性基準である漸近安定性を目指すのが望ましいと考えられる。すなわち，Fig. 2 で，トレードオフを解決できず，かつ極めて危機的なコンフリクト状態でない場合は，何らかの解を維持し，社会環境の変化などを観察してから，新たにコンフリクトマネジメントを行うことも重要なマネジメント方法であると述べたが，ここで維持する解としては，当然維持し得る解を選択しなければならない。不安定なコンフリクト状態が続くことで，たとえば余計に社会的な費用がかさむこともある。解がプレイヤーにもたらす利害と共に，社会的な安定性を考慮してコンフリクトをマネジメントすることの重要性がこの点にあると考える。

漸近安定な事象を知るためには，Fig. 3 に示したように，強ナッシュ均衡，進化的安定のいずれを調べても良い。微分方程式系，ゲーム理論，進化ゲームの理論いずれの方法でも同様の頑健な安定性を有する解を得られることになる。

現象を分析する際には，GMCR を用いることによって，ナッシュ均衡以外の安定性も調べるのが良いだろう。なぜなら，たとえば Sequential Stability は，日常の人間対人間の行動から窺えるごく自然な思考パターンを前提としているため，現象記述という点で GMCR は実際的であると考えられるからである。

また，コンフリクトマネジメントを行う上での指針はこれら数学的背景に加え，実社会の社会的公正基準というものを常々念頭に置いておくべきであり，モデルやその分析結果を実社会に照らし合わせて常に吟味する必要がある。

漸近安定として満たすべき条件を実社会において実現することが困難な場合はリヤプノフ安定集合における漸近安定集合の補集合を考え，あるいは漸近安定状態が存在しない場合はリヤプノフ安定集合を考え，この集合内の状態を実現することを目的とした分析を通してマネジメントの方法を見出す必要がある。そして，リヤプノフ安定状態が実社会において何らかの制約のため実現困難な場合は，ナッシュ均衡集合におけるリヤプノフ安定集合の補集合を考える。さらにこれが実現困難な場合には，定常状態としてナッシュ均衡以外の GMCR における安定集合を考えることが必要となる。

このように Fig. 3 より，順次柔軟に，安定性を弱めていくことで，コンフリクトマネジメントが向かうべき方向を実社会と数学的安定性の要件を照らし合わせた上で設定することができることがわかる。

逆に，得られた均衡解が Fig. 3 におけるナッシュ均衡以外の GMCR における安定集合にしかない場合もある。なぜなら，ナッシュ均衡解は混合戦略を前提とした場合には必ず得られるが，GMCR では純粋戦略の枠組みで体系化されているためナッシュ均衡解が得られないこともあるためである。ただし，GMCR において定義される種々の解概念の枠組みでは必ず解は得られるので，ナッシュ均衡解がない場合の均衡解は Fig. 3 におけるナッシュ均衡以外の GMCR における安定集合に含まれるということになる。

この場合，限られた均衡解の中でコンフリクトの目標を設定するが，それらの均衡解は安定ではある

が多少の摂動で安定性を失うことを心に留めておかなければならない。すなわち，社会システムにおけるなんらかの不確実性に対して脆いのである。

しかしながら，たとえば個人の心や社会の迷いであるとか，集団における戦略選択の分布を想定した場合には混合戦略まで戦略空間を拡張し，レプリケーターダイナミクスを用いることで，ナッシュ均衡の頑健性の種類やその前提条件を分析することができる。

実社会における社会的公正基準を考えた場合や得られる解が限られている場合には，現状のコンフリクト状態を維持するということが最善であるということも起こり得るだろう。たとえば，かつて中国の鄧小平が日中の領土紛争について,「次の世代に任せて，このことでギスギスせずに，友好を深めましょう」と発言した。これで，一気に日中の友好関係が深まった。このように現状を維持し，コンフリクトに対する外部の要請や互いの信頼関係を構築し，より良い社会環境の変化を誘導した後に，新たな設定のもとでコンフリクトを分析し，そのマネジメントについて考察するという方法は，実社会を考えれば柔軟で現実的意義があり，かつ重要なマネジメント方法の 1 つであるといえるだろう。

4. インド・バングラデシュのガンジス川水利用コンフリクトへの適用

ここでは，これまでに述べたコンフリクトマネジメントの理念と方法論，さらに数学的安定性と社会的安定性の関連の考察を通して，インド・バングラデシュのガンジス川水利用コンフリクトを眺め，将来的な合意形成の可能性について分析する。

4.1 背景

インドはガンジス川に沿ってバングラデシュの上流に位置する。両国の位置関係を Fig. 4 に示す。

両国は水不足に悩まされており，インドとバングラデシュの間ではガンジス川の水資源を巡ってコンフリクトがくり広げられてきた。ガンジス川に沿ってインドの上流にはネパールがあり，インド・ネパール間にもコンフリクトを観察することができる。インドはネパールとの関係では，強国が下流にあるナイル川におけるエジプトに比定でき，バングラデシュとの関係では強国が上流にあるメコン川の中国と比定できる。ここでは，より危機的であり，また世界的にも以前から広く水資源コンフリクトとして認知されてきたインドとバングラデシュのコンフリクトに特に着目して分析を行うこととする。インド・バングラデシュのコンフリクトの歴史を近藤（1997），萩原ら（2003）を参考に以下で簡単に紹介する。

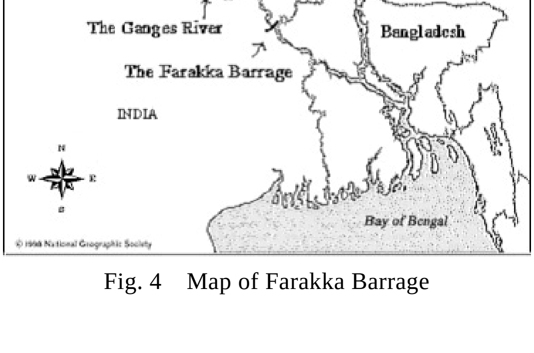

Fig. 4　Map of Farakka Barrage

インドは 1975 年に両国の国境付近にファラッカ堰を一方的に建設し，堰完成後に水資源配分に関する暫定的な協定が両国間で締結された。しかしながら，この協定は数ヶ月後に失効し，インドはバングラデシュの合意がないまま取水を開始した。第 2 の協定が 1977 年に締結され，1984 年まで両国により順守された。インドはこの協定によって，1975 年の協定時よりも多く取水できる権利を得たが，バングラデシュにとっては不満の残る内容であった。1984 年から 12 年間，両国の間にガンジス川の水資源利用に関する取り決めは何もなされなかった。そして，3 度目の協定が 1996 年に締結され現在も履行されている。この協定では，バングラデシュは 1977 年～1984 年までの協定よりもさらにインドに譲歩した内容となっている。

1996 年の協定は 2026 年まで実効され，その後，両国は再締結に関して協議を行うと明文化されている。長期間の実効力を持つ 1996 年の協定によって，両国の水争いには一応の終止符が打たれたように見える。しかしながら，コンフリクトは完全に解決されたわけではない。協定は上流に位置するインドに有利な内容となっており，バングラデシュは多くの不満を抱え協定に従っている。

バングラデシュにおけるガンジス川の流量は，インドがファラッカ堰において取水する流量に大きな影響を受ける。したがって，両国が友好な関係を築くことは，バングラデシュにとって渇水・旱魃や洪水に対する脆弱性を減じるための重要な手段のひとつとなる。このような認識のもとでは，バングラデシュにおける水資源に関する災害はインドの意向に影響を受ける人為災害（man-made disaster）としての要素を大きく兼ね備えているといえる。

インドとバングラデシュのガンジス川をとりまく水資源コンフリクトは，世界的にも特に深刻である

として注目されてきた。しかしながら，インド・バングラデシュのコンフリクトを対象とした現状記述的な報告が多く，マネジメントを視野に入れたモデル分析による取り組みは未だなされていない。

4.2 Conflict1：現状分析

本節では GMCR を用いて，インド・バングラデシュのファラッカ堰利用に関するコンフリクトの現状について分析を行う。

プレイヤーとプレイヤーの有するオプションを Table 1 のように設定する。なお，以下ではバングラデシュのオプション Agree は「ファラッカ堰の利用に合意する」を意味し，インドのオプション Use は「ファラッカ堰を利用する」を意味し, Change は「ファラッカ堰の利用方針を変更する」を意味する。

Table 1 において, Y はオプションが実行されることを意味し，N は実行されないことを意味する。プレイヤーごとの N,Y の組み合わせを，そのプレイヤーの戦略と呼び，すべてのプレイヤーの戦略の組み合わせを事象と呼ぶ。Table 1 では各列が事象と対応する。各事象のラベルを Table 1 の最下行に示す。

次に Table 1 に示される 8 個の事象をプレイヤーの選好にしたがって並べ，選好順序を得る。以下の設定の前提条件は，現状から想定される選好と矛盾しないこと，また，分析を行った際に現状を意味する事象 3 が均衡解として得られることである。

最も好ましいものを一番左側に置くとし，バングラデシュの選好順序は現状を踏まえ，{8, 6, 5, 1, 2, 7, 3, 4}と想定した。すなわち，バングラデシュがファラッカ堰利用に合意し，かつインドが利用ルールを見直すことを望むが，それ以外の場合は自国に不利となる状況を嫌うものとした。

次にインドの選好順序を設定する。インドはファラッカ堰を利用することを最も重視しており，その次にバングラデシュが同意することを重視し，Change に関しては，インドはファラッカ堰の利用方針を見直さない方を好ましいと思っているとした。以上を反映した選好順序は{4, 8, 3, 7, 2, 6, 1, 5}となる。

以上の設定のもと，GMCR により均衡解が決定されるプロセスを Table 2 を用いて示す。Table 2 において各プレイヤーの選好順序以下に記してある数字は式(22)で定義される単独改善となる事象を表している。たとえば，インドの選好順序における事象 6 は 3 つの単独改善，4, 8, 2 を有しており，そのうち上から順にインドにとって好ましい事象となっている。安定性の行に記してある *n* はナッシュ安定性を，*s* は Sequential Stability を，*u* は不安定を表しており，

Table 1　Players, Options and States

Players and Options	**States**							
Bangladesh								
Agree	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y
India								
Use	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y
Change	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y
Label	1	2	3	4	5	6	7	8

Table 2　Stability Analysis

Bangladesh								
	E						*E*	
Stability	*n*	*n*	*s*	*n*	*s*	*s*	*n*	*u*
Preference Order	8	6	5	1	2	7	3	4
Unilateral Improvement			6		1	8		3
India								
Stability	*n*	*s*	*n*	*u*	*u*	*u*	*u*	*u*
Preference Order	4	8	3	7	2	6	1	5
Unilateral Improvement		4		3	4	4	3	3
					8	8	7	7
						2		1

バングラデシュとインド双方に対してナッシュ安定性か，Sequential Stability を有している事象が均衡解となる。Table 2 においてはバングラデシュの選好順序の上方に書かれている *E* が均衡解を示す。

以上より，事象 3 はバングラデシュとインドの双方にとってナッシュ安定であるので均衡解となることが分かる。また，事象 8 はバングラデシュにとってナッシュ安定であり，インドにとって Sequential Stability を有していることから, これも均衡解として得られる。事象 8 は，インドはファラッカ堰を運用し，運用ルールを見直す，バングラデシュはファラッカ堰利用に合意するという状況を示す。バングラデシュとインドの選好順序から分かるように，事象 8 は現状を表す事象 3 よりも，両国にとって望ましい状況である。

事象 3 から事象 8 への推移は，もし各プレイヤーがそれぞれ単独で移行しようとした場合，その結果到達する事象は初期事象 3 よりも両国にとって望ましくないものとなる。このプロセスを Table 3 に示す。

Table 3 左の Bangladesh の列で示されているように，もしバングラデシュのみがオプション Agree を実行しないから実行するに変更した場合，事象は 3 から 4 へ推移する。バングラデシュの選好順序から，この移行はバングラデシュにとって状況の悪化となることが分かる。同様に，中央の India の列は，もしインドのみがオプション Change を実行しないから実

Table 3　Transitions from State 3

Players and Options	Bangladesh	India	Together
Bangladesh			
Agree	N → Y	N　N	N → Y
India			
Use	Y　Y	Y　Y	Y　Y
Change	N　N	N → Y	N → Y
Label	3 → 4 Unilateral Disimprovement	3 → 7 Unilateral Disimprovement	3 → 8 Joint Improvement

行するへ変更した場合，事象は 3 から 7 へ推移する事を示しており，インドの選好順序から，この移行はインドにとって状況の悪化となることが分かる。つまり，インドとバングラデシュが単独で事象 3 から 8 へ向かうような戦略の変更を起こす動機がない。事象 8 は事象 3 よりも好ましい状態であるが，インドとバングラデシュが共同で，それぞれの戦略を変更させなければ事象 8 は実現しない。この共同改善のプロセスは Table 3 右の Together の列に示されている。このことから，これらプレイヤーのコミュニケーションと相互理解を確立するために，第 3 者機関の介入が有効となると考えられる。

4.3　Conflict2：第 3 者機関の介入

第 2 章では，第 3 者機関の役割として仲裁者，調整者，寄贈者の 3 つを定義した。インド・バングラデシュのコンフリクトはすでに長期にわたってくり広げられているため，できるだけ短期に，かつ両者の歩み寄りによってコンフリクトが改善されることが望ましい。このような認識のもとで，ここでは短期的かつ強制力のない調整者に着目した分析を示す（Sakamoto et. al, 2005）。

コンフリクトの設定と，バングラデシュとインドの選好順序の設定は前節 Conflict 1 と同様である。また，調整者はコンフリクトの調整過程において公平かつ公正に振舞うべきであり，この特徴をモデル上で表現するために調整者はすべての事象に対して同選好であるとする。調整者が介入した際のファラッカ堰問題の設定を Table 4 に示す。

第 3 者機関は，「バングラデシュとインドが相互合意に到達することを促進させるための行動を起こす」というオプション Act を有しているものとする。Act としては直接的な対策として資金援助，水利用に関するインフラ整備等が挙げられ，間接的な対策としては教育システムの提供，飲料水ヒ素汚染に悩む両国への技術援助等が考えられる。

Table 4　Players, Options and States

Players and Options	States															
Bangladesh																
Agree	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y
India																
Operate	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y
Change	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y
Third Party																
Act	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Label	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
State numbers in Conflict 1	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8

Table 5　Preference Order of Bangladesh

Players and Options	States															
Bangladesh																
Agree	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y
India																
Operate	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Change	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N
Third Party																
Act	Y	N	Y	N	Y	N	N	Y	N	Y	Y	N	N	Y	N	Y
Label	16	8	14	6	13	5	1	9	2	10	15	7	3	11	4	12
State numbers in Conflict 1	8	8	6	6	5	5	1	1	2	2	7	7	3	3	4	4

Table 6　Preference Order of India

Players and Options	States															
Bangladesh																
Agree	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N
India																
Operate	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N
Change	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y
Third Party																
Act	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N
Label	12	16	4	8	11	15	3	7	10	14	2	6	9	13	1	5
State numbers in Conflict 1	4	8	4	8	3	7	3	7	2	6	2	6	1	5	1	5

Table 4 において事象に 1 から 16 までの番号をラベルとして与え，また，前節の Conflict 1 におけるラベルと等価なラベルを表の最下部に示す。Conflict 2 における初期状態は事象 3 で表される。

まず，バングラデシュの選好を設定する。バングラデシュは第 3 者機関が行動を起こす方を起こさない方よりも好ましく思っており，それ以外のオプションに対する選好は Conflict 1 と同様であると想定する。このときバングラデシュの選好順序は Table 5 に示すように設定される。

次にインドの選好順序を設定する。インドは第 3 者機関が行動を起こす方を起こさない方よりも好ましいと思っており，それ以外のオプションに対する

Table 7　Transitions from State 3

Players and Options	Bangladesh	India	Bangladesh & Third Party
Bangladesh			
Agree	N → Y	N　N	N → Y
India			
Use	Y　Y	Y　Y	Y　Y
Change	N　N	N → Y	N　N
Third Party			
Act	N　N	N　N	N → Y
Label	3 → 4 Unilateral Disimprovement	3 → 7 Unilateral Disimprovement	3 → 12 Joint Disimprovement

Players and Options	India & Third Party	Bangladesh & India	All together
Bangladesh			
Agree	N　N	N → Y	N → Y
India			
Use	Y　Y	Y　Y	Y　Y
Change	N → Y	N → Y	N → Y
Third Party			
Act	N → Y	N　N	N → Y
Label	3 → 15 Joint Improvement	3 → 8 Joint Improvement	3 → 16 Joint Improvement

選好は Conflict 1 と同様であると想定する。ただし，インドが重視する戦略の順は，まず第 1 番目にファラッカ堰を運用すること，第 2 番目にバングラデシュが同意すること，第 3 番目に第 3 者機関が行動を起こすこと，最後にインドが見直しをしないこととする。このとき，インドの選好順序は Table 6 のように設定される。

以上の設定のもと，GMCR により事象 3，8，11，16 が均衡解として得られる。これらの均衡解のうち，事象 16 がインドとバングラデシュにとって最も望ましいコンフリクトの解決状態である。事象 16 を実現するためのプロセスを Table 7 と Fig.5 を用いて説明する。

Table 7 上段右の列（Fig.5 の右図点線矢印）では，もしバングラデシュと第 3 者機関が事象 3 から同時に移行すれば事象 12 に到達し，これはバングラデシュにとって状況の悪化になることを示している。一方，Table 7 下段左の列（Fig.5 の右図実線矢印）に示されるように，インドと第 3 者機関が事象 3 から同時に移行すれば事象 15 に到達し，これはインドにとって状況の改善となる。すなわち，インドはバングラデシュとの共同移行なくして状況の改善である事象 15 を実現することができる。第 3 者機関がインドと共同移行することをインドに信頼させることができるとすれば，この信頼のもとに，バングラデシュと共にインドと第 3 者機関が事象 3 から移行するということに対する信頼を，第 3 者機関はバングラデシュに与えることができる。こうして第 3 者機関を介し，バングラデシュとインドは間接的に相互信頼を形成することとなり，これが事象 3 から事象 16 への移行の動機となって，バングラデシュ・インド・第 3 者機関の共同移行により事象 16 が実現することとなる。

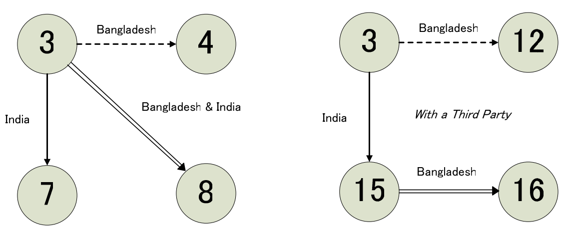

Fig.5　Transition from State 3

もし第 3 者機関が行動を起こさず，バングラデシ

ュとインドが両国のみで共同移行した場合，Table 7 下段中央の列（Fig.5 の左図二重線矢印）に示されるように，事象 3 から事象 8 へ推移し，これは両国にとって状況の改善となる。しかしながら，Table 6 より，インドは事象 8 よりも好ましい事象 4 へ移行することが可能であることが分かる。こうして，事象は 3 から 8 へ，その後 4 へと推移することとなる。Table 5 より，事象 4 はバングラデシュにとって事象 3 よりも好ましくないため，このような推移は両国にとってコンフリクト状況の改善とはならないといえる。

以上より，調整者としての第 3 者機関の介入がプレイヤー間の相互信頼を間接的にもたらし得，これにより現状のコンフリクト構造では相互信頼の欠如から実現困難であったコンフリクト改善状態が達成され得る可能性があることが示されたといえる。

4.4　均衡解の安定性の分析

次に，以上の GMCR を適用したインド・バングラデシュのガンジス川におけるファラッカ堰運用に関するコンフリクトを，均衡解の安定性の議論のために進化ゲームの理論を用いて分析する。

本質的なコンフリクトの争点をより明確にするために，これまでのコンフリクトを次の仮定のもと，より簡略化する。「インドがファラッカ堰を利用しないことはない。」という仮定をおくことで，インド・バングラデシュのコンフリクトは Table 8 のようにモデル化できる。なお，Table 8 の事象 1 が現状を表している。

バングラデシュの選好順序は 4.2 節の GMCR による分析を参照して，{4,3,1,2} と設定する。また，インドの選好順序も同様に {2,4,1,3} と設定する。

次に，プレイヤーの選好順序の順序を利得として用い，利得行列を設定する（坂本・萩原，2002）。すなわち，バングラデシュを行プレイヤー，インドを列プレイヤーとしたとき，行列の要素は各プレイヤーの戦略の組み合わせ，つまり事象を意味することとなる。そこで，選好順序における好ましさの順位を対応する事象の要素に書き入れたものを利得行列として用いるのである。利得行列と事象の対応関係を Table 9 に示す。

このとき，バングラデシュの利得行列 A，インドの利得行列 B はそれぞれ式(23)(24)のように設定できる。たとえば，Table 9 の行列における要素(1, 2)の部分は「バングラデシュは合意せず，インドは利用し，変更する」を意味し，これは事象 3 にあたる。選好の低いものから順に 1，2，, ，と利得を与えるとすれば，バングラデシュは 2 番目に事象 3 を好ましく思っているから，利得 3 を事象 3 に与える。この利得を事象 3 と対応するバングラデシュの利得行列の要素(1, 2)に書き込む。インドは事象 3 を最も好ましく思っていないから，利得 1 を事象 3 に与える。この利得を事象 3 と対応するインドの利得行列の要素(1, 2)に書き込む。こうして，バングラデシュとインドの利得行列が式(23)(24)のように得られる。

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 1 & 4 \end{pmatrix} \tag{23}$$

$$B = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 4 & 3 \end{pmatrix} \tag{24}$$

式(11)に表される複数集団におけるレプリケーターダイナミクスに式(23)(24)を適用する。なお，式(11)は 2 集団の場合，Table 9 に対応してプレイヤー1 の戦略選択確率を $\mathbf{x} = (x_1, x_2)$，プレイヤー2 の戦略選択確率を $\mathbf{y} = (y_1, y_2)$ とすれば，次式のように書ける。

$$\frac{dx_h}{dt} = [u_1(\mathbf{e_1^h}, \mathbf{y}) - u_1(\mathbf{x}, \mathbf{y})]x_h = [\mathbf{e_1^h} \cdot \mathbf{Ay} - \mathbf{x} \cdot \mathbf{Ay}]x_h \tag{25}$$

$$\frac{dy_k}{dt} = [u_2(\mathbf{e_2^k}, \mathbf{x}) - u_2(\mathbf{y}, \mathbf{x})]y_k = [\mathbf{e_2^k} \cdot \mathbf{B^T x} - \mathbf{y} \cdot \mathbf{B^T x}]y_k \tag{26}$$

x_h:プレイヤー1 の h 番目の純粋戦略に対する戦略選択確率

y_k:プレイヤー2 の k 番目の純粋戦略に対する戦略選択確率

u_i $(\mathbf{x}, \mathbf{y})$：戦略 $\mathbf{y}$ に対して戦略 $\mathbf{x}$ が得る利得

$\mathbf{x}$：プレイヤー1 の戦略ベクトル

$\mathbf{y}$：プレイヤー2 の戦略ベクトル

Table 8　Players, Options and States

Players and Options	States			
Bangladesh				
Agree	N	Y	N	Y
India				
Use	Y	Y	Y	Y
Change	N	N	Y	Y
Label	1	2	3	4

Table 9　Payoff Matrix

Bangladesh \ India		y_1 Use Not Reconsider	y_2 Use Reconsider
x_1	Not Agree	1	3
x_2	Agree	2	4

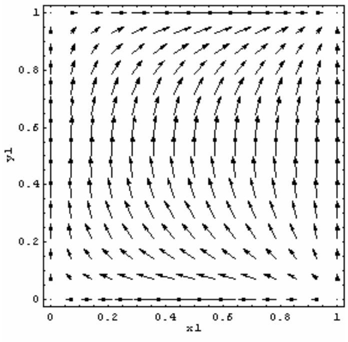

Fig. 6　Vector Field

A：プレイヤー1 の利得行列

B：プレイヤー2 の利得行列

e_i^h ：j_iー空間の単位ベクトル

式(11)に式(23)(24)を適用し，展開すれば次式を得る。

$$\frac{dx_1}{dt} = x_1[3(1-y_1)+2y_1-(1-x_1)\{4(1-y_1)+y_1\}$$
$$-x_1\{3\ (1-y_1)+2y_1\}] \tag{27}$$

$$\frac{dx_2}{dt} = 1-x_1 \tag{28}$$

$$\frac{dy_1}{dt} = y_1[4(1-x_1)+2x_1-\{3(1-x_1)+x_1\}\ (1-y_1)$$
$$-\{4(1-x_1)+2x_1\}y_1] \tag{29}$$

$$\frac{dy_2}{dt} = 1-y_1 \tag{30}$$

(x_1, y_1) 空間の任意の点を取り, 式(27)(29)に代入し, その点のベクトルの方向と大きさを書き込んでいくと Fig. 6 を得られる。

この図から，$(x_1,y_1)=(1,1)$に収束していくことが分かる。$(x_1,x_2,y_1,y_2)=(1,0,1,0)$は現状を表す事象であり，すなわち，いかなる初期状態も現状に収束することになるといえる。したがって，$(x_1,y_1)=(1,1)$は進化的に安定な戦略である。

次に，Table 8 とは異なる設定に対して GMCR，レプリケーターダイナミクス，ゲーム理論を用いた分析を行い，得られた均衡解の比較を示す。

ここでは, 4.2 節の Conflict 1 における設定に対し，インドが運用ルールを見直しながらファラッカ堰を利用しないという状態は現実には起こりがたいと仮定し, このような事象をあらかじめ排除して Table 10 のようにインド・バングラデシュのコンフリクトを設定する。ここで, 事象 3 が現状を表す事象である。

次に Table 10 に示される 6 個の事象をプレイヤーの選好する順に並べ，選好順序を得る。以下の設定の前提条件は，現状から想定される選好と矛盾しないこと，また，分析を行った際に現状を意味する事象 3 が均衡解として得られることである。

Table 10　Players, Options and States

Players and Options	States					
Bangladesh						
Agree	N	Y	N	Y	N	Y
India						
Use	N	N	Y	Y	Y	Y
Change	N	N	N	N	Y	Y
Label	1	2	3	4	5	6

Table 11　Payoff Matrix

Bangladesh \ India		y_1 Not Use Not Reconsider	y_2 Use Not Reconsider	y_3 Use Reconsider
x_1	Not Agree	1	3	5
x_2	Agree	2	4	6

バングラデシュの選好順序は GMCR による分析を参照して，{6,1,2,5,3,4}と設定する。また，インドの選好順序も同様に{4,6,3,5,2,1}と設定する。

以上の設定のもと，GMCR によれば，事象 3 と 6 が均衡解として得られる。事象 3 は現状を表し，事象 6 はコンフリクトの改善状況を表す事象であるといえる。

次に，伝統的な戦略形のゲーム理論の枠組みでインド・バングラデシュのコンフリクトをモデル化する。ここでも，プレイヤーの選好順序の選好順位を利得として用い，利得行列を設定することとする。利得行列と事象の対応関係を Table 11 に示す。

このとき，バングラデシュの利得行列 A'，インドの利得行列 B'はそれぞれ式(31)(32)のように設定できる。

$$A' = \begin{pmatrix} 5 & 2 & 3 \\ 4 & 1 & 6 \end{pmatrix} \tag{31}$$

$$B' = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 3 \\ 2 & 6 & 5 \end{pmatrix} \tag{32}$$

こうして，インドとバングラデシュの混合戦略空間は Fig. 7 のように描ける。Fig. 7 において影のついた領域がバングラデシュの最適反応戦略集合，太線がインドの最適反応戦略集合である。これらの結合領域が両者にとってのナッシュ均衡状態となるので，ここでは$(x_1,x_2,y_1,y_2,y_3)=(1,0,0,1,0)$が解となる。これは GMCR モデルにおける事象 3 を意味する。

式(31)(32)を利得行列としてレプリケーターダイ

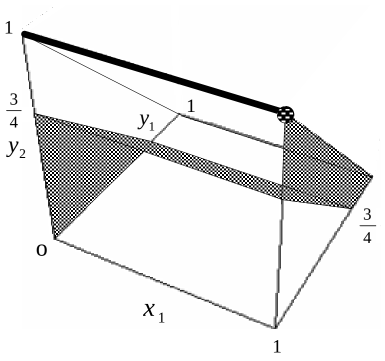

Fig. 7　Mix Strategy Space

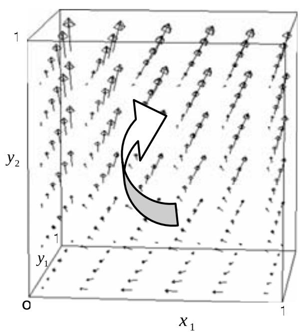

Fig. 8　Vector Field

ナミクスを適用すれば，x_1-y_1-y_2に関するベクトル場は Fig. 8 のようになる。

Fig. 8 より，$(x_1,y_1,y_2)=(1,0,1)$に収束することが分かり，したがってこの点は進化的に安定であるといえる。$(x_1,y_1,y_2)=(1,0,1)$は事象 3 であり，現状に他ならない。すなわち，事象 3 を初期値とすれば現状は変化しようもないといえる。ここで，Fig. 8 でのベクトルは緩やかに放物線を描いていることから，初期状態でバングラデシュに多少なりとも合意の気持ちがあった場合，一旦はバングラデシュの合意を選択する確率は高くなるが，インドの対応からバングラデシュは後ろ向きな学習を行うことになり，結局，合意を形成する気がなくなってしまうということが分かる。

GMCR で分析を行うと，事象 3「バングラデシュは合意せず，インドは運用方針を変えないまま，ファラッカ堰を利用する」に加えて事象 6「バングラデシュは合意し，インドは運用方針を変えて，ファラッカ堰を利用する。」も均衡解として得られた。この理由を第 3 章で述べた GMCR，ゲーム理論，進化ゲームの理論における安定性との関連で以下に考察する。

GMCR により得られる解の安定性は，ゲーム理論，進化ゲームの理論におけるような最適反応を前提としていないため，解集合は大きくなる。このような特徴から GMCR で事象 3 に加えて均衡解として得られる事象 6 は，バングラデシュにとってはナッシュ安定，インドにとっては Sequential Stable として構成される。Sequential Stability はプレイヤーのメタ的な最適反応を考慮するもので，第 1 手番目で最適反応とならずに均衡解の対象として通常は排除される事象も，連続手番を考えた場合にはメタ的に安定であるとして Sequential Stability を有することがある。しかしながら，Sequential Stability は安定性としてはナッシュ安定に比べ頑健さに欠ける。これらの GMCR の解の特徴から，次のことがいえる。事象 3 から事象 6 への移行を第 3 者機関の介入によるコンフリクトマネジメントとして考える場合，まず，プレイヤーがメタ的な最適反応を振る舞えることが必要とされる。そして，マネジメントの結果，事象 3 から事象 6 に到達したとしても事象 6 は均衡状態としての頑健性に欠けるため，第 3 者機関が継続して介入しなければ，コンフリクトの改善状態は容易に崩れてしまうのである。このような場合，コンフリクトの改善となる安定状態に頑健性を持たせるためには，プレイヤーの選好順序を本質的に変化させるしかないといえる。

5.　おわりに

本研究では，適応的計画方法論として水資源計画を捉え，この中でコンフリクトマネジメントを位置づけた。また，水資源を取りまく利害主体の対立をモデル化するいくつかの数学理論における安定性の概要を示し，この関連を整理した。そして，社会的安定性を数学的安定性から考察した。さらに，以上の方法論を用いて，インド・バングラデシュのガンジス川水利用コンフリクトを事例に分析を行い，数学的安定性の社会システムにおける現実的意味と，将来的な合意形成の可能性についての考察を示した。

今後の課題としては，ゲーム理論では同階層として位置づけられるプレイヤーの間の力の階層関係を考慮し，より現実的な分析を行うための枠組みを開発していくことがあげられる。

参考文献

近藤則夫編：現代南アジアの国際関係，アジア経済研究所, 1997.

榊原弘之・五十部部渉・岡田憲夫・多々納裕一：不完備情報下でのプロジェクト選択を巡るコンフリクトの調整メカニズムに関する研究，土木学会論文集, Ⅳ-51, pp.3-16, 2001.

坂本麻衣子・萩原良巳：水資源の開発と環境の社会的コンフリクトにおける均衡状態到達プロセスに関する研究，環境システム研究論文集，Vol.30, pp.207-214, 2002.

萩原良巳・萩原清子・Bilqis A. Hoque・山村尊房・畑山満則・坂本麻衣子・宮城島一彦；バングラデシュにおける災害問題の実態と自然・社会特性との関連，京都大学防災研究所年報，第 46 号 B，pp.15-30, 2003.

萩原良巳・坂本麻衣子：コンフリクトマネジメント－水資源の社会リスク－，勁草書房, 2006.

吉川和広：最新土木計画学―計画の手順と手法，森北出版, 1975.

Fang, L., Hipel, K.W., and Kilgour, D.M.: Interactive Decision Making: The Graph Model for Conflict Resolution, Wiley, New York, 1993.

Maynard Smith, J., and Price, G.R. : The Logic of Animal Conflicts, Nature 246, pp.15-18, 1973.

Nash, J.F. : Equilibrium points in n-person games, Proceedings of the National Academy of CSciences, Vol.36, pp.48-49, 1950.

Ohlsson, L. ed. : Hydropolitics: Conflicts over Water As a Development Constraint, University Press Limited, Banladesh, 1996.

Sakamoto, M. and Hagihara, Y., ‘A Study on Social Conflict Management in a Water Resources Development - A Case of the Conflict between India and Bangladesh over Regulation of the Ganges River-’, Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources, Vol.18, No.1, pp.11-21, 2005.

Sakamoto, M., Hagihara, Y., and Hipel, K.W.; Coordination Process by a Third Party in the Conflict Between Bangladesh and India over Regulation of the Ganges River, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2005.

Weibull, J.W.: Evolutionary Game Theory, Massachusetts Institute of Technology, 1995.

Recognition of Equilibrium States in Conflict Management

Maiko SAKAMOTO* and Yoshimi HAGIHARA

* Center for Northeast Asia Studies, Tohoku University

Synopsis

The future risk of water resources shortage is world widely recognized. Conflicts over ways of water utilization will happen more often in the future as water resources shortage becomes more sever. In this study, firstly, a methodology for water resources planning is proposed, which is considered as an adaptive planning system. Secondly, social conflicts over regulation of water resources are modeled with mathematical theories, such as game theory and differential equations. Thirdly, mathematical stabilities which are focused on in this study are summarized, and social stability is considered in the frame of mathematical satiability. Lastly, mathematical models are applied to the India-Bangladesh conflict over the regulation of the Ganges, and the possibility of conflict management is analyzed.

Keywords: conflict management, water resources planning, systems analysis, game theory, evolutional game theory, replicator, dynamics