

<論 説>

国際組織を通じた国際公共財供給*

鈴木伸枝

概要

離脱可能な国際組織を通じて加盟国にのみ便益をもたらす国際公共財が繰り返し供給される状況を考える。最初から協力するようなルールは遵守されないが、一定期間待ってから協力を始める信頼形成ルールを用いた部分的な協力は可能である。加盟国数が減少した国際組織において、解散するルールと欠員を抱えたまま存続するルールとを比較すると、後者のほうが一旦形成した信頼を無駄にせずすむ反面、パイが小さい期間が続く上に逸脱を防ぐためには前者よりも長い信頼形成期間が必要になるというトレード・オフがある。

キーワード：公共財供給，国際公共財，グローバル公共財，自発的継続繰り返しゲーム

JEL 分類: C 73

* 慶應義塾大学のグレーヴァ香子教授の有益なアドバイスをいただいた。

また、この研究は日本証券奨学財団の助成を受けている。両者に感謝の意を表したい。

(受理：2011年11月18日)

1. イントロダクション

環境問題、安全保障、資源問題といったグローバルな諸問題は、解決すれば便益が地球規模に拡散するという意味で、これらの諸問題への取り組みは地球規模での公共財の供給ともいえる。近年ではこのようなグローバルな公共財を扱う研究分野が発展しつつあり、吉田・井堀・瀬島(2009)などにその成果が集約されている。その中で、離脱可能な国際組織を通じて繰り返し供給される国際公共財の分析はまだ手薄であり、本稿はこれに取り組む。

国際公共財の特色のひとつに、多期間に渡って繰り返し供給されることがある。橋や道路などの多くの国内公共財は1回建設すれば長期に渡って使用が可能であるのに対し、環境保全やテロ対策等の多くの国際公共財は毎年成果を得るためには毎年の貢献が必要となる。供給に携わる国の間でもこういった繰り返しは認識されているはずであり、繰り返しを許容した枠組で分析することは国際公共財の供給行動をより深く理解する上で有用と考えられる。

繰り返しといっても、ひとたび国際組織を形成してしまえば固定された加盟国間で自動的に無限回繰り返しゲームがプレイされるわけではない。京都議定書から米国が離脱したように、加盟国は国際組織から離脱する可能性がある。国際連合のように強大な権限をもつ国際組織は非常に稀で、現状の多くの国際組織は非協力的な国に対して経済制裁等の十分な処罰を与えることはできない。ましてや既に離脱してしまった国を処罰することは事実上不可能である。

環境保全や安全保障などの必要性が高まるのに応じて、従来から互いをよく知っている近隣諸国のみでなく、これまで疎遠であったグローバルな相手と寄り集まって国際組織を形成し協力を試みるケースは今後増えていくであろう。グローバルに離散した相手との国際組織を通じた公共財供給の便益が、非加盟国にも同じように及ぶ場合もあれば、逆に加盟国内でのみ享受される場合もある。たとえば、温暖化対策は非加盟国にもほぼ同等の便益をもたらすのに対

し、テロ対策や貿易自由化は加盟国に圧倒的に多くの便益をもたらすと考えられる。前者においては、潜在的な非協力国は国際組織に所属せずただ乗りするインセンティブをもつ。この場合の分析には、公共財供給を第1段階で参加メンバーを決定し第2段階で貢献額を決定する2段階ゲームとして定式化した Saijo and Yamato (1999) の枠組に繰り返しを加味すれば十分である。後者においては、世界中に多くの国際組織が出現し、潜在的な非協力国は国際組織を次から次へと渡り歩くインセンティブをもつ。本稿で分析対象とするのは、後者の加盟国にのみ便益をもたらすタイプの国際公共財である。

国際公共財供給のための国際組織の形成・離脱・組替えを扱った先行研究はいくつかある。島 (2009) は提携形ゲームを用いてグローバル公共財の提携形成を分析している。また、Nakagawa, Sejima and Fujimoto (2010) は国際公共財を供給する同盟の形成状況に関するシミュレーションを行い、総和型とベターショット型のどちらの公共財生産関数が実際の米ソの冷戦における同盟形成と整合的かを検証している。しかしながら、いずれの研究も繰り返しにより1回限りのゲームに比べて協力が強化される可能性は考えていない。

他方、橋本・上原 (2009) は、社会的ジレンマがある3人ゲームのシミュレーションを行っている。そして、ジレンマの度合いがあまり大きくないパラメータ下では、総当たりの繰り返しゲームで平均利得に応じて個体数が増減し突然変異があるような動学において、パレート効率的な戦略分布が長期的に実現するという結果を得ている。ただし、この研究では国際組織が何期にも渡って継続する可能性は考慮されていない。

本稿では、離脱可能な国際組織を通じて加盟国にのみ便益をもたらす国際公共財が繰り返し供給される状況を考える。次節でモデルを説明し、第3節では3ヶ国モデル、第4節では K ヶ国モデルにおいてどの程度の効率性が達成可能かを考える。最初から協力するようなルールは遵守されないが、一定期間待つてから協力を始める

信頼形成ルールを用いた部分的な協力は可能である。加盟国数が減少した国際組織において、解散するルールと欠員を抱えたまま存続するルールとを比較すると、後者のほうが一旦形成した信頼を無駄にせずすむ反面、パイが小さい期間が続く上に逸脱を防ぐためには前者よりも長い信頼形成期間が必要になるというトレード・オフがある。

2. モデル

非常に多くの国もしくは地域(以下、「国」とよぶ)があり、各国は小国で個々の国の行動が世界全体に及ぼす影響は無視できるものとする。この仮定より、プレイヤーの集合を大きさ1の連続体とみなす。

時間は離散的で、 $1, 2, \dots$ と続く。各期末に各国では確率 $1 - \delta$ ($0 < \delta < 1$)で政権交代等の理由により、現行の国がモデルから退出する。次期の開始時には退出したのと同じ数の新しい国が誕生し、プレイヤー全体の集合の大きさは一定に保たれるものとする。ここでいう政権交代は、国際公共財政策に関するスタンスが旧政権とは異なり加盟していた国際組織からの離脱をもたらすものに限定する。つまり、国際公共財政策が変わらず他の加盟国も新政権を旧政権と同一視して関係を継続するような場合には、このモデル上は政権交代がなかったものとする。また、本稿では、モデルをできるだけ単純に保つため、政権交代がおこる確率の高い国と低い国の見分けは他国にも自国にもつかず、どの国も自国・他国ともに共通の δ に直面していると認識するものと仮定する。各国から見ると、ゲームは確率 δ で常に次期に続いていく。そこで、主観的な時間選好は考えず、この δ によって割引かれる割引期待利得に着目する。

新しく誕生した国は「ランダム・マッチング・プール」に入る。そこにいる国はランダムに K ヶ国 (ただし K は有限で $K \geq 2$) ごとに組分け(partition)され、それぞれ K ヶ国からなる「国際組織」を形成し以下に記述する「離脱可能な国際組織を通じた繰り返し公共財供給

ゲーム」をプレイする。

離脱可能な国際組織を通じた繰り返し公共財供給ゲームの各期は、2段階ゲームから成る。第1段階には、加盟する K ヶ国で公共財を供給する。この各期の公共財供給が、このゲームにおける唯一の利得の源泉である。個々の加盟国には「協力 (C)」「非協力 (D)」の2つの選択肢があり、協力をプレイするには費用 c ($c > 0$) がかかる。 K ヶ国中の x ヶ国 ($0 \leq x \leq K$) が協力した場合に各国が受け取る公共財からの便益を $G(x)$ で表す。ただし、便益 G は協力国数 x の増加関数で、 $G(0)$ とする。また、すべての $1 \leq x \leq K$ について

$$G(x) - G(x-1) < c \quad (1)$$

であり、すべての $2 \leq x \leq K$ について

$$\frac{c}{x} < G(x) - G(x-1) \quad (2)$$

が成り立つものと仮定する。ここで、 K は十分に小さい値で、すべての加盟国が協力国数 x のみならず、具体的にどの国が協力してどの国が非協力だったかを完全に観察できるものとする。

第2段階において各国は、自国が国際組織に「加盟し続ける (k)」「離脱する (e)」の2つの選択肢がある。この意思決定と今期末の政権交代の結果、残る加盟国が K ヶ国未満になった国際組織は今期末に解散する。国際組織が存続する場合には、次期に残っている加盟国間で同じ2段階ゲームを繰り返す。

離脱した国および加盟していた国際組織が自然消滅した国は、今期末と次期初の間にランダム・マッチング・プールに戻り、新たな K ヶ国からなる国際組織に組み分けされ、離脱可能な国際組織を通じた繰り返し公共財供給ゲームをプレイする。

国際組織内の行動は、内部の国には完全に観察されるが、外部の国には一切観察されないとする。また、 K が十分に小さい有限の値であるのに対してプレイヤーの集合は連続体であるという仮定から、同じ国際組織に属したことのある国と異なる国際組織で再び一緒になる確率は

ゼロである。したがって、ランダム・マッチング・プールで新しく出会った国の過去の行動はお互いに全くわからない。このことから、各国の戦略や国際組織のルールは現在の国際組織が始まってからの加盟国の行動にのみ依存すると考えるのが自然であろう。

そこで、 $t = 1, 2, \dots$ で、曆上の時間ではなく現在の国際組織が何期続いているかを表すことにする。各 t について、 s ヶ国が加盟している国際組織において、

$$H_t = \{ \{C, D\}^s \times \{k, e\}^s \}^{(t-1)}$$

を国際組織の t 期初の現加盟国の履歴の集合とする。形成されたばかりの第1期初であれば履歴 H_1 は空白である、第1期には K ヶ国すべてが加盟しているので、第1期の第2段階開始時の履歴は $H_1 \times \{C, D\}^K$ である。

国際組織は結成時に、加盟国がとるべき行動と解散の条件を記したルールを公布するとともに、ルールに従って解散を司る。各加盟国は、ルールを守ることが最適反応であるときかつそのときのみルールを遵守するものとする。他の国がすべてルールに従っているときに、自国もルールに従うことが最適であれば、ルールの遵守されるナッシュ均衡が存在する。

3. 3ヶ国間組織による国際公共財供給

一般的な K ヶ国モデルを扱う前に、この節では $K = 3$ 、すなわち各国際組織の初期の構成国数が3ヶ国のモデルにおける国際公共財供給の可能性を考える。

まず、同一国際組織内でのプレイが常に1期限りになるような経路上では、利得に関する(1)式の仮定より、各国にとっては第1段階で非協力をプレイすることが最適反応となる。そこで、協力を可能にするためには、ある程度の繰り返しが必要になる。しかし、仮に対抗的な非協力をういた処罰ルールを作っても、裏切った国は処罰される前に離脱してしまうかもしれない。たとえば、すべての国際組織が「第1期から協力し、裏切って非協力をプレイした国が

あればその国が加盟している限り残りの国が非協力をプレイして処罰する」というルールを採用していて、自国以外がこれを遵守している場合を考えてみる。自国もこのルールに従った場合、毎期の利得はたかだか $G(3) - c$ であるが、第1期目に非協力をプレイして離脱すれば毎期 $G(2)$ を得る。したがって、通常の無限回繰り返しゲームとは違い、每期すべての国が協力することは不可能である。

このような場合、2人ゲームにおいては「信頼形成戦略」による部分的な協力が可能であることが、Datta (1996)、Ghosh and Ray (1996) や Fujiwara-Greve and Okuno-Fujiwara (2009) などによって明らかにされている。信頼形成戦略とは、最初の何期間か非協力を続けてから協力を開始するものである。ランダム・マッチング・プールに戻った際にはまた非協力から始めなければならないため、一旦協力期間に入った現在のパートナーを裏切ろうというインセンティブが抑制される。

3ヶ国間組織の場合には、加盟国が減ってパイが小さくなった場合に2ヶ国間組織として継続すべきか、解散してランダム・マッチング・プールに戻るかという新たな問題が生じる。そこで、3ヶ国未満になったら解散してしまうルールと、2ヶ国になっても解散しないルールの両方を考え、それらを比較する。

3.1 3ヶ国未満になったら解散するケース

まず、3ヶ国のうちの1ヶ国でも欠員が生じたら解散してしまうケースを考える。対称均衡に注目し、すべての国際組織が以下の「3ヶ国揃わなければ解散する T 期信頼形成」ルールを採用しているものとする。

- 第1期から第 T 期までを「信頼形成期間」とする。この期間中は、すべての国が第1段階の国際公共財供給において「非協力」をプレイし、第2段階で「加盟し続ける」を選択する。
- 第 $T + 1$ 期以降を「協力期間」とする。逸脱した国がいない限り、すべての国が第1

段階の国際公共財供給において「協力」をプレイし、協力した国は第2段階で「加盟し続ける」を選択する。協力期間中に逸脱して非協力をプレイする国があれば、次期以降その国が離脱するまで残りすべての国は非協力をプレイする。

- 加盟国数が3ヶ国未満になったら解散する。

離脱がなくとも、政権交代で加盟国数が減り解散に追い込まれる可能性はある。政権交代のみを考えた場合、第2期初に3ヶ国とも存続している確率は δ^3 、第3期初に3ヶ国とも存続している確率は δ^6 、第 t 期初に3ヶ国とも存続している確率は $\delta^{3(t-1)}$ である。ひとつの国際組織において、どの国も自主的に離脱しない場合に、3ヶ国揃った状態が続く期待期間は

$$\sum_{t=1}^{\infty} \delta^{3(t-1)} = \frac{1}{1-\delta^3}$$

となる。第2期初に自国が存続しているのに3ヶ国揃わずランダム・マッチング・プールに戻る確率は $\delta - \delta^3$ で、第3期初には $\delta^3(\delta - \delta^3)$ 、第 t 期初には $\delta^{3(t-2)}(\delta - \delta^3)$ である。この確率の無限期間に渡る合計は

$$\sum_{t=2}^{\infty} \delta^{3(t-2)}(\delta - \delta^3) = \frac{\delta - \delta^3}{1 - \delta^3}$$

となる。

いま、3ヶ国間国際組織モデルにおいて、すべての国が3ヶ国揃わなければ解散する T 期間信頼形成ルールに従っているとき、ランダム・マッチング・プールにおける生涯期待利得を $V_{3,3}(C_T)$ で表す。まず、最初の T 期間はどの国も協力しないので、信頼形成期間にこの国際組織内で得られる利得の割引現在価値は

$$\frac{1 - \delta^{3T}}{1 - \delta^3} \cdot 0 = 0$$

である。また、第 $T+1$ 期からはすべての国が協力するので、協力期間にこの国際組織内で得られる利得の割引現在価値は

$$\frac{\delta^{3T}}{1 - \delta^3} \cdot (G(3) - c)$$

である。自国の政権が存続しているのに国際組織が解散した場合には、そこから先の生涯期待利得は $V_{3,3}(C_T)$ で、割引現在価値は

$$\frac{\delta - \delta^3}{1 - \delta^3} \cdot V_{3,3}(C_T)$$

である。これらを総合すると、 $V_{3,3}(C_T)$ は再帰方程式

$$V_{3,3}(C_T) = \frac{\delta^{3T}}{1 - \delta^3} \cdot (G(3) - c) + \frac{\delta - \delta^3}{1 - \delta^3} \cdot V_{3,3}(C_T)$$

で表され、

$$V_{3,3}(C_T) = \frac{\delta^{3T}}{1 - \delta} \cdot (G(3) - c) \quad (3)$$

となる。

協力期間における今期以降の生涯期待利得は、 T 期間待たずに協力できる分だけランダム・マッチング・プールにおける期待利得を上回るので、

$$V_{3,3}^* = V_{3,3}(C_T) + \frac{1 - \delta^{3T}}{1 - \delta^3} (G(3) - c)$$

である。他方、協力期間中に非協力をプレイした国は、現在の国際組織に残っている限り毎期他国が非協力で利得がゼロになるという処罰を受けるよりは、ランダム・マッチング・プールに戻ったほうが利得が高いので、非協力をプレイした国は離脱することがわかる。協力期間中に1回限りの逸脱をし、非協力をプレイして離脱しランダム・マッチング・プールに戻った場合の今期以降の生涯期待利得は、

$$\bar{V}_{3,3} = G(2) + \delta \cdot V_{3,3}(C_T)$$

である。

以上から、 $V_{3,3}^* \geq \bar{V}_{3,3}$ であれば各国は他の国が3ヶ国未満になったら解散する T 期間信頼形成ルールに従っているときに、自分もそのルールに従うことが最適反応となる。この条件は具体的に書くと

$$V_{3,3}(C_T) + \frac{1 - \delta^{3T}}{1 - \delta^3} \cdot (G(3) - c) \geq G(2) + \delta \cdot V_{3,3}(C_T)$$

で、式の変形により

$$\begin{aligned}
(1-\delta)V_{3,3}(C_T) + \frac{1-\delta^{3T}}{1-\delta^3} \cdot (G(3)-c) \\
&= \left(\delta^{3T} + \frac{1-\delta^{3T}}{1-\delta^3} \right) \cdot (G(3)-c) \\
&= \left(1 + \frac{\delta^3(1-\delta^{3T})}{1-\delta^3} \right) \cdot (G(3)-c)
\end{aligned}$$

が得られるので、条件式は

$$\frac{\delta^3(1-\delta^{3T})}{1-\delta^3} \cdot (G(3)-c) \geq G(2) - (G(3)-c)$$

となり、整理すると

$$\frac{\delta^3(1-\delta^{3T})}{1-\delta^3} \geq \frac{G(2) - (G(3)-c)}{G(3)-c} \quad (4)$$

が3ヶ国揃わなければ解散する T 期間信頼形成ルールが遵守される条件である。ここで、 $G(2) - (G(3)-c)$ が大きく逸脱の誘因が大きいときには、より長い信頼形成期間が必要となることがわかる。

3.2 2ヶ国になっても解散しないケース

すべての国際組織が以下の「2ヶ国になっても解散しない T 期信頼形成」ルールを採用している状況を考える。

- 第1期から第 T 期までを「信頼形成期間」とする。この期間中は、すべての国が第1段階の国際公共財供給において「非協力」をプレイし、第2段階で「加盟し続ける」を選択する。
- 第 $T+1$ 期以降を「協力期間」とする。逸脱した国がない限り、すべての国が第1段階の国際公共財供給において「協力」をプレイし、協力した国は第2段階で「加盟し続ける」を選択する。協力期間中に逸脱して非協力をプレイする国があれば、次期以降その国が離脱するまで残りすべての国は非協力をプレイする。
- 加盟国数が2ヶ国未満になったら解散する。

離脱がなくとも、政権交代で加盟国数は減っていく。政権交代のみを考えた場合、第2期初に3ヶ国が加盟している確率は δ^3 、自国を含めた2ヶ国のみが加盟している確率は $2(1-\delta)\delta^2$ 、自国が政権交代でモデルから退出する確率は $1-\delta$ で、確率 $\delta(1-\delta)^2$ で他の2ヶ国が退出して

国際組織が解散し自国はランダム・マッチング・プールに戻る。第3期初には3ヶ国が加盟している確率は δ^6 、自国を含む2ヶ国のみである確率は $2(1-\delta)(\delta^4 + \delta^5)$ で、ランダム・マッチング・プールに戻る確率は $\delta^2(1-\delta^2)^2$ である。第 t 期初には3ヶ国が加盟している確率は $\delta^{3(t-1)}$ で、自国を含む2ヶ国のみが加盟している確率は

$$\begin{aligned}
&2\delta^2(1-\delta) \cdot \delta^{2(t-2)} + \delta^3 \cdot 2\delta^2(1-\delta) \cdot \delta^{2(t-3)} + \dots \\
&\quad + \delta^{3(t-3)} \cdot 2\delta^2(1-\delta) \cdot \delta^2 \\
&\quad + \delta^{3(t-2)} \cdot 2\delta^2(1-\delta) \\
&= 2(1-\delta)[\delta^{3 \cdot 0} \delta^{2(t-1)} + \delta^{3 \cdot 1} \delta^{2(t-2)} + \dots \\
&\quad + \delta^{3(t-3)} \delta^{2 \cdot 2} + \delta^{3(t-2)} \delta^{2 \cdot 1}] \\
&= 2(1-\delta) \sum_{s=1}^{t-1} \delta^{3(s-1)} \delta^{2(t-s)} \\
&= 2(1-\delta) \sum_{s=1}^{t-1} \delta^{3(s-1)+2(t-s)} \quad (5)
\end{aligned}$$

で表される。また、第 t 期初にランダム・マッチング・プールに戻る確率は

$$\delta(1-\delta)^2 \delta^{3(t-2)} + 2\delta(1-\delta)^2 \sum_{s=1}^{t-2} \delta^{s+2t-5} \quad (6)$$

である。

ひとつの国際組織において、どの国も自主的に離脱しない場合に、3ヶ国揃った状態が続く期待期間は前項同様 $\frac{1}{1-\delta^3}$ であり、自国を含む2ヶ国のみ状態の期待期間は(5)式より

$$\begin{aligned}
&\sum_{t=2}^{\infty} (2(1-\delta) \sum_{s=1}^{t-1} \delta^{s+2t-5}) \\
&= 2(1-\delta)[(\delta^2) + (\delta^4 + \delta^5) \\
&\quad + (\delta^6 + \delta^7 + \delta^8) + \dots] \\
&= 2(1-\delta)[(\delta^2 + \delta^4 + \delta^6 + \dots) \\
&\quad + (\delta^5 + \delta^7 + \dots) + (\delta^8 + \dots) + \dots] \\
&= 2(1-\delta) \left[\frac{\delta^2}{1-\delta^2} + \frac{\delta^5}{1-\delta^2} + \frac{\delta^8}{1-\delta^2} + \dots \right] \\
&= \frac{2(1-\delta)\delta^2}{(1-\delta^2)(1-\delta^3)} \quad (7)
\end{aligned}$$

である。また、自国以外の2ヶ国が政権交代により退出し、自国がこの国際組織からランダム・マッチング・プールに戻る確率の無限期間和は、(6)式より、

$$\begin{aligned}
 & \sum_{t=2}^{\infty} \delta(1-\delta)^2 \delta^{3(t-2)} \\
 & + \sum_{t=3}^{\infty} (2\delta(1-\delta)^2 \sum_{s=1}^{t-2} \delta^{s+2t-5}) \\
 & = \frac{\delta(1-\delta)^2}{1-\delta^3} + \frac{2(1-\delta)^2 \delta^3}{(1-\delta^2)(1-\delta^3)} \\
 & = \frac{\delta(1+\delta^2)(1-\delta)^2}{(1-\delta^2)(1-\delta^3)} \quad (8)
 \end{aligned}$$

である。

いま、3ヶ国間国際組織モデルにおいてすべての国が2ヶ国になっても解散しない T 期間信頼形成ルールに従っているとき、ランダム・マッチング・プールにおける期待生涯期待利得を $V_{3,2}(C_T)$ で表す。まず、最初の T 期間ほどの国も協力しないので、信頼形成期間にこの国際組織内で得られる利得の割引現在価値は

$$\begin{aligned}
 & \left[\sum_{t=1}^T \delta^{3(t-1)} \cdot (G(3) - c) \right. \\
 & \left. + \sum_{t=1}^T (2(1-\delta) \sum_{s=1}^{t-1} \delta^{s+2t-3}) \cdot (G(2) - c) \right] \cdot 0 = 0
 \end{aligned}$$

である。また、第 $T+1$ 期からはすべての国が協力するので、協力期間にこの国際組織内で得られる利得の割引現在価値 $V_{3,2}^I$ は

$$\begin{aligned}
 V_{3,2}^I & = \sum_{t=T+1}^{\infty} \delta^{3(t-1)} \cdot (G(3) - c) \\
 & + \sum_{t=T+1}^{\infty} (2(1-\delta) \sum_{s=1}^{t-1} \delta^{s+2t-3}) \cdot (G(2) - c) \\
 & = \frac{\delta^{3T}}{1-\delta^3} \cdot (G(3) - c) + \left[\frac{2\delta^{2T}(1-\delta^{T-1})}{1-\delta^2} \right. \\
 & \left. + \frac{2(1-\delta)\delta^{3T-1}}{(1-\delta^2)(1-\delta^3)} \right] \cdot (G(2) - c) \\
 & = \frac{\delta^{3T}}{1-\delta^3} \cdot (G(3) - c) \\
 & + 2 \cdot \left[\frac{\delta^{2T}}{1-\delta^2} - \frac{\delta^{3T}}{1-\delta^3} \right] \cdot (G(2) - c) \\
 & = \frac{(1-\delta^2)\delta^{3T}(G(3)-c) + 2(1-\delta^3-\delta^T+\delta^{T+2})\delta^{2T}(G(2)-c)}{(1-\delta^2)(1-\delta^3)}
 \end{aligned}$$

である。自国の政権が存続しているのに国際組織が解散した場合には、そこから先の生涯期待利得は $V_{3,2}(C_T)$ で、割引現在価値は(8)式より

$$\frac{\delta(1+\delta^2)(1-\delta)^2}{(1-\delta^2)(1-\delta^3)} \cdot V_{3,2}(C_T)$$

となる。これらを総合すると、 $V_{3,2}(C_T)$ は再帰方程式

$$V_{3,2}(C_T) = V_{3,2}^I + \frac{\delta(1+\delta^2)(1-\delta)^2}{(1-\delta^2)(1-\delta^3)} \cdot V_{3,2}(C_T)$$

で表され、ランダム・マッチング・プールにおける生涯期待利得は

$$\begin{aligned}
 & V_{3,2}(C_T) \\
 & = \frac{(1-\delta^2)(1-\delta^3)}{(1-\delta)^2(1+\delta+2\delta^2)} \cdot V_{3,2}^I \\
 & = \frac{\delta^{2T}}{(1-\delta)^2(1+\delta+2\delta^2)} \cdot [(1-\delta^2)\delta^T(G(3)-c) \\
 & \quad + 2(1-\delta^3-\delta^T+\delta^{T+2})(G(2)-c)] \quad (9)
 \end{aligned}$$

である。

第 $T+1$ 日以降の協力期間において、3ヶ国が揃っているときに、2ヶ国になっても解散しない T 期間信頼形成ルールに従って協力を続けた場合の今期以降の生涯期待利得は

$$\begin{aligned}
 V_{3,2,3}^* & = \frac{1}{1-\delta^3} \cdot (G(3) - c) \\
 & + \frac{2(1-\delta)\delta^2}{(1-\delta^2)(1-\delta^3)} \cdot (G(2) - c) \\
 & + \frac{\delta(1+\delta^2)(1-\delta)^2}{(1-\delta^2)(1-\delta^3)} \cdot V_{3,2}(C_T)
 \end{aligned}$$

で、これを整理すると

$$\begin{aligned}
 V_{3,2,3}^* & = V_{3,2}(C_T) + \sum_{t=1}^T \delta^{3(t-1)} \cdot (G(3) - c) \\
 & + 2(1-\delta) \sum_{t=2}^T \sum_{s=1}^{t-1} \delta^{s+2t-3} \cdot (G(2) - c) \\
 & = V_{3,2}(C_T) + \frac{1-\delta^{3T}}{1-\delta^3} \cdot (G(3) - c) \\
 & + \frac{2(1-\delta)(1-\delta^T)(\delta^2+\delta^{T+2}-\delta^{2T}-\delta^{2T+1})}{(1-\delta^2)(1-\delta^3)} \cdot (G(2) - c)
 \end{aligned}$$

である。他方、このとき、非協力をプレイしてランダム・マッチング・プールに戻るという1回限りの逸脱をした場合の今期以降の生涯期待利得は

$$\tilde{V}_{3,2,3} = G(2) + \delta \cdot V_{3,2}(C_T)$$

である。

また、第 T 日以降の協力期間において、自国を含めた2ヶ国しか加盟していないときに、2ヶ国になっても解散しない T 期間信頼形成ルールに従って協力を続けた場合の今期以降の生涯

待利得は

$$V_{3,2,2}^* = \frac{1}{1-\delta^2} \cdot (G(2)-c) + \frac{\delta(1-\delta)}{1-\delta^2} \cdot V_{3,2}(C_T)$$

である。他方、このとき、非協力をプレイしてランダム・マッチング・プールに戻るという1回限りの逸脱をした場合の今期以降の生涯期待利得は

$$\tilde{V}_{3,2,2} = G(1) + \delta \cdot V_{3,2}(C_T)$$

となる。2ヶ国になっても解散しない T 期間信頼形成ルールが遵守されるのは

$$V_{3,2,3}^* \geq \tilde{V}_{3,2,3} \quad (10)$$

$$V_{3,2,2}^* \geq \tilde{V}_{3,2,2} \quad (11)$$

の2式がともに満たされるときである。(10)式は3ヶ国揃った協力期間に逸脱しないための条件で、(11)式は2ヶ国だけの協力期間に逸脱しないための条件になっている。

これらの条件のどちらがより満たすことが難しいかは、存続確率 δ や公共財の費用・便益の構造によって変わる。たとえば、表1の数値例では、 $(G(1), G(2), G(3), c) = (1.2, 2.5, 3.01, 1.5)$ を共通のパラメータとして、 $\delta = .8$ の場合と $\delta = .9$ の場合を比較している。前者では(10)式には $T = 2$ が必要なのに対して(11)式には $T = 1$ で十分で、後者では逆に(10)式には $T = 1$ で十分なのに対して(11)式には $T = 2$ が必要である。

また、表2の数値例では、 $(G(2), G(3), c, \delta) = (2, 2.5, 1.501, .8)$ を共通のパラメータとして、 $G(1) = .5$ の場合と $G(1) = 1.1$ の場合を比較している。前者では(10)式には $T = 3$ が必要なのに対して(11)式には $T = 2$ で十分で、後者では逆に(10)式には $T = 3$ で十分なのに対して(11)式には $T = 4$ が必要となる。

	$\delta = .8$		$\delta = .9$	
	$V_{3,2,3}^* - \tilde{V}_{3,2,3}$	$V_{3,2,2}^* - \tilde{V}_{3,2,2}$	$V_{3,2,3}^* - \tilde{V}_{3,2,3}$	$V_{3,2,2}^* - \tilde{V}_{3,2,2}$
$T = 0$	-1.20195	-0.72987	-1.22472	-1.37358
$T = 1$	-0.122592	0.0357195	0.0644037	-0.431932
$T = 2$	0.613028	0.557497	1.14247	0.355554

表1 数値例：

$$(G(1), G(2), G(3), c) = (1.2, 2.5, 3.01, 1.5)$$

3.3 3ヶ国未満になった場合に解散すべきか

3ヶ国未満になった場合に解散するルールと、解散しないルールを比較する。まず、信頼形成期間が T のとき、それぞれのルールにすべての国が従っている場合の利得の差は

$$\begin{aligned} & V_{3,3}(C_T) - V_{3,2}(C_T) \\ &= \frac{2\delta^{2T}}{(1-\delta)(1+\delta+2\delta^2)} [\delta^{T+2}(G(3)-c) \\ & \quad + (1+(\delta-\delta^T)(1+\delta))(G(2)-c)] \end{aligned}$$

である。したがって、

$$\delta^{T+2}(G(3)-c) > (1+(\delta-\delta^T)(1+\delta))(G(2)-c) \quad (12)$$

のときに、すべての国が従っている場合の利得は解散するルールのほうが解散しないルールよりも高い。明らかに、 $T = 0$ の場合には $V_{3,3}(C_T) > V_{3,2}(C_T)$ である。これは、仮に信頼形成なしで協力できた場合には、每期3ヶ国で協力したほうが2ヶ国間だけで協力するよりも利得が高いからである。ただし、前述のように、 $T = 0$ では非協力をプレイして離脱するインセンティブが発生してルールが遵守されない。反対に、 $T \rightarrow \infty$ のときには $V_{3,3}(C_T) < V_{3,2}(C_T)$ である。一般に、新しい国際組織での信頼形成に時間がかかるならば現在残っている2ヶ国だけで協力を続けるほうが有益となり、十分に大きい T については(同一の T のもとでは) $V_{3,3}(C_T) < V_{3,2}(C_T)$ が成立する。

しかしながら、ランダム・マッチング・プールに戻った際の高い期待利得は、逸脱のインセンティブを増幅させかねない。3ヶ国揃わなければ解散する際のインセンティブ条件(4)式を

	$G(1) = .5$		$G(1) = 1.1$	
	$V_{3,2,3}^* - \tilde{V}_{3,2,3}$	$V_{3,2,2}^* - \tilde{V}_{3,2,2}$	$V_{3,2,3}^* - \tilde{V}_{3,2,3}$	$V_{3,2,2}^* - \tilde{V}_{3,2,2}$
$T = 0$	-1.20879	-0.520481	-1.20879	-1.12048
$T = 1$	-0.494702	-0.0139745	-0.494702	-0.613975
$T = 2$	-0.0377755	0.310124	-0.0377755	-0.289876
$T = 3$	0.254611	0.517514	0.254611	-0.0824855
$T = 4$	0.441714	0.650227	0.441714	0.0502271

表2 数値例：

$$(G(2), G(3), c, \delta) = (2, 2.5, 1.501, .8)$$

満たす T であっても、2ヶ国になっても解散しない場合のインセンティブ条件(10)-(11)式を満たさない可能性がある。3ヶ国揃わなければ解散するケースのインセンティブ条件(4)式を等号で満たすパラメータのもとで、2ヶ国でも解散せず協力期間において2ヶ国が加盟している際のインセンティブ条件(11)式を評価すると

$$V_{3,2,2}^* - \tilde{V}_{3,2,2} = \frac{(G(2) - c) - G(1)}{1 - \delta^2} + \frac{\delta^2((1 - \delta^{3T+1})G(1) - (1 - \delta)\delta^{3T}G(2))}{(1 - \delta^2)(1 - \delta^{3T+1})} + \frac{(1 - \delta)\delta^2}{1 - \delta^2}(V_{3,3}(C_T) - V_{3,2}(C_T)) \geq 0$$

が得られる。第1項は(1)式の仮定より常に負で、第3項も $V_{3,3}(C_T) < V_{3,2}(C_T)$ の場合には負であるから、3ヶ国揃わなければ解散する T 期間信頼形成ルールが遵守される T のもとで一般に2ヶ国になっても解散しない T 期間信頼形成ルールが遵守されるとはいえない。むしろ、広範なパラメータの組み合わせのもとで、2ヶ国になっても解散しないルールのほうが長い信頼形成期間を必要とする。

以上のように、欠員が生じた際に解散することは、一般に2つの相反する効果をもたらす。十分に長い信頼形成期間 T のもとでは、解散しないほうがすべての国が T 期間信頼形成ルールに従った場合のランダム・マッチング・プールにおける期待利得は大きい。しかしながら、解散しない場合には逸脱のインセンティブを抑制するためにはより長い信頼形成期間が必要となる。2つの効果を総合して、3ヶ国揃わなければ解散するケースのインセンティブ条件(4)式を満たす最小の整数 $T_{3,3}$ のもとでの期待利得 $V_{3,3}(C_{T_{3,3}})$ が、2ヶ国になっても解散しないケースのインセンティブ条件(10)-(11)式を満たす最小の整数 $T_{3,2}$ のもとでの期待利得 $V_{3,2}(C_{T_{3,2}})$ を上回れば、解散するルールのほうがより効率的となる。

ここで、パラメータによっては、十分に長い信頼形成期間 T というのは1期で十分であったり、 $T_{3,3}$ と $T_{3,2}$ が同じ整数値であったりする場合も少なくない。以下に2つほど数値例を挙げ

	3ヶ国揃わなければ解散		2ヶ国になっても解散しない		
	$V_{3,3}^* - \tilde{V}_{3,3}$	$V_{3,3}(C_T)$	$V_{3,2,3}^* - \tilde{V}_{3,2,3}$	$V_{3,2,2}^* - \tilde{V}_{3,2,2}$	$V_{3,2}(C_T)$
$T=0$	-0.99	7.55	-1.20195	-0.72987	6.49026
$T=1$	1.95752	3.8656	-0.122592	0.0357195	4.33704
$T=2$	3.46665	1.97919	0.613028	0.557497	2.86954

表3 数値例：

$$(G(1), G(2), G(3), c, \delta) = (1.2, 2.5, 3.01, 1.5, 0.8)$$

	3ヶ国揃わなければ解散		2ヶ国になっても解散しない		
	$V_{3,3}^* - \tilde{V}_{3,3}$	$V_{3,3}(C_T)$	$V_{3,2,3}^* - \tilde{V}_{3,2,3}$	$V_{3,2,2}^* - \tilde{V}_{3,2,2}$	$V_{3,2}(C_T)$
$T=0$	-1.001	9.995	-1.20879	-0.520481	8.95604
$T=1$	2.90105	5.11744	0.220103	0.493038	6.10552
$T=2$	4.8989	2.62013	1.226	1.20652	4.09884

表4 数値例：

$$(G(1), G(2), G(3), c, \delta) = (1.5, 3, 3.5, 1.501, 0.8)$$

ておく。

表3の数値例は、 $(G(1), G(2), G(3), c, \delta) = (1.2, 2.5, 3.01, 1.5, 0.8)$ のケースである。 $T = 1$ のときのランダム・マッチング・プールにおける生涯期待利得を比べると、2ヶ国になっても解散しない場合の方が大きい。しかしながら、3ヶ国揃わなければ解散する場合には $T = 1$ でインセンティブ条件は満たされるのに対して、2ヶ国になっても解散しない場合は $T = 1$ では(10)式が満たされず $T = 2$ が必要である。そこで $V_{3,3}(C_1)$ と $V_{3,2}(C_2)$ とを比較すると、 $V_{3,3}(C_1)$ のほうが大きく、このパラメータのもとでは3ヶ国揃わなければ解散するルールのほうが効率的である。

他方、表4は $(G(1), G(2), G(3), c, \delta) = (1.5, 3, 3.5, 1.501, 0.8)$ の数値例を考えている。このパラメータのもとでは、解散するケースと解散しないケースのどちらでも、1期間信頼形成ルールを遵守させることが可能である。 $V_{3,3}(C_1)$ と $V_{3,2}(C_1)$ とを比較すると $V_{3,2}(C_1)$ のほうが大きく、解散しないルールのほうがより効率的となっている。

4. K ヶ国間組織による国際公共財供給

この節では、より一般的な $K \geq 2$ について考察する。ただし、前節の $K = 3$ の場合の分析からも予想されるように、加盟国数の変化を伴う動学の分析は K が大きくなれば非常に複雑になる。そこで、まずは加盟国が K ヶ国に満たない国際組織はすべて解散してしまうルールのもとでどの程度の効率性が達成可能かを考える。

4.1 K ヶ国未満になったら解散するケース

すべての国際組織が以下の「 K ヶ国揃わなければ解散する T 期信頼形成」ルールを採用している状況を考える。

- 第1期から第 T 期までを「信頼形成期間」とする。この期間中は、すべての国が第1段階の国際公共財供給において「非協力」をプレイし、第2段階で「加盟し続ける」を選択する。
- 第 $T + 1$ 期以降を「協力期間」とする。逸脱した国がいない限り、すべての国が第1段階の国際公共財供給において「協力」をプレイし、協力した国は第2段階で「加盟し続ける」を選択する。協力期間中に逸脱して非協力をプレイする国があれば、次期以降その国が離脱するまで残りすべての国は非協力をプレイする。
- 加盟国数が K ヶ国未満になったら解散する。

加盟國中1ヶ国でも政権が交代すれば国際組織が解散するとき、国際組織が第2期初まで存続する確率は δ^K 、第3期初まで存続する確率は δ^{2K} 、第 t 期初まで存続する確率は $\delta^{K(t-1)}$ である。他方、自国の政権が第2期初まで存続したにもかかわらず国際組織が第1期末で解散する確率は $\delta - \delta^K$ 、自国の政権が第3期初まで存続したにもかかわらず国際組織が第2期末で解散する確率は $\delta^K(\delta - \delta^K)$ 、自国の政権が第 t 期初まで存続したにもかかわらず国際組織が第 $t - 1$ 期末で解散する確率は $\delta^{K(t-2)}(\delta - \delta^K)$ である。

すべての国が K ヶ国未満になったら解散する T 期間信頼形成ルールに従っているときの期待生涯期待利得を $V_{K,K}(C_T)$ で表す。まず、最初の T 期間はどの国も協力しないので、信頼形成期間にこの国際組織内で得られる利得の割引現在価値は

$$\sum_{t=1}^T \delta^{K(t-1)} \cdot 0 = \frac{1 - \delta^{KT}}{1 - \delta^K} \cdot 0 = 0$$

である。また、 $T + 1$ 期目からはすべての国が協力するので、協力期間にこの国際組織内で得られる利得の割引現在価値は

$$\sum_{t=T+1}^{\infty} \delta^{K(t-1)} \cdot (G(K) - c) = \frac{\delta^{KT}}{1 - \delta^K} \cdot (G(K) - c)$$

である。自国の政権が存続しているのに国際組織が解散した場合には、そこから先の生涯期待利得は $V_{K,K}(C_T)$ で、割引現在価値は

$$\sum_{t=1}^{\infty} \delta^{K(t-1)} (\delta - \delta^K) \cdot V_{K,K}(C_T) = \frac{\delta - \delta^K}{1 - \delta^K} \cdot V_{K,K}(C_T)$$

である。これらを総合すると、 $V_{K,K}(C_T)$ は再帰方程式

$$V_{K,K}(C_T) = \frac{\delta^{KT}}{1 - \delta^K} \cdot (G(K) - c) + \frac{\delta - \delta^K}{1 - \delta^K} \cdot V_{K,K}(C_T) \quad (13)$$

で表され、マッチング・プールにおける生涯期待利得は

$$V(C_T)_{K,K} = \frac{\delta^{KT}}{1 - \delta} \cdot (G(K) - c) \quad (14)$$

となる。

協力期間において、 K ヶ国未満になったら解散する T 期間信頼形成ルールに従い続けた場合の今期以降の生涯期待利得は

$$V_{K,K}^* = V_{K,K}(C_T) + \frac{1 - \delta^{KT}}{1 - \delta^K} \cdot (G(K) - c) \quad (15)$$

である。他方、協力期間中に T 期間信頼形成ルールから1回限りの逸脱をし、非協力をプレイして離脱しランダム・マッチング・プールに戻った場合の今期以降の生涯期待利得は

$$\tilde{V}_{K,K} = G(K - 1) + \delta \cdot V_{K,K}(C_T) \quad (16)$$

である。 $V_{K,K}^* \geq \tilde{V}_{K,K}$ であれば各国は他の国がルールに従っているときに、自分も従うこと

が最適反応となる。この条件は(14)-(15)式を用いて具体的に書くと

$$V_{K,K}(C_T) + \frac{1 - \delta^{KT}}{1 - \delta^K} \cdot (G(K) - c) \geq G(K-1) + \delta \cdot V_{K,K}(C_T) \quad (17)$$

で、 $K = 3$ の場合と同様の式の変形により(17)式は

$$\frac{\delta^K(1 - \delta^{KT})}{1 - \delta^K} \cdot (G(K) - c) \geq G(K-1) - (G(K) - c)$$

となり、整理すると

$$\frac{\delta^K(1 - \delta^{KT})}{1 - \delta^K} \geq \frac{G(K-1) - (G(K) - c)}{G(K) - c} \quad (18)$$

が K ヶ国未満になったら解散する T 期間信頼形成ルールが遵守される条件である。ここで、 $G(K-1) - (G(K) - c)$ が大きく逸脱の誘因が大ききときには、より長い信頼形成期間が必要となることがわかる。また、 $K = 2$ の場合には、この条件は Fujiwara-Greve and Okuno-Fujiwara (2009) の2人囚人のジレンマモデルにおいて T 期間信頼形成による部分的な協力が可能となる条件と一致する。

4.2 K ヶ国未満になるまで解散しない場合

すべての国際組織が以下の「 K ヶ国未満になったら解散する T 期信頼形成」ルールを採用している状況を考える。

- 第1期から第 T 期までを「信頼形成期間」とする。この期間中は、すべての国が第1段階の国際公共財供給において「非協力」をプレイし、第2段階で「加盟し続ける」を選択する。
- 第 $T+1$ 期以降を「協力期間」とする。逸脱した国がない限り、すべての国が第1段階の国際公共財供給において「協力」をプレイし、協力した国は第2段階で「加盟し続ける」を選択する。協力期間中に逸脱して非協力をプレイする国があれば、次期以降その国が離脱するまで残りすべての国は非協力をプレイする。
- 加盟国数が K ヶ国未満になったら解散する。

このケースでは、前項と違って国際組織には每期 K ヶ国が加盟しているとは限らない。離脱がなく、政権交代のみで加盟国数が減っていくときには、第2期初の加盟国が自国を含む s ヶ国である確率は

$$p_2(s; K) = \delta^s(1 - \delta)^{K-s} \cdot {}_{K-1}C_{s-1} \\ = \delta^s(1 - \delta)^{K-s} \cdot \frac{(K-1)!}{(s-1)!(K-s)!} \quad (19)$$

である。第2期初の加盟国が自国を含む u ヶ国($u \geq s$)であるとき、第3期初の加盟国が自国を含む s ヶ国である条件付き確率は

$$\delta^s(1 - \delta)^{u-s} \cdot {}_{u-1}C_{s-1}$$

となる。したがって、第2期初の加盟国が自国を含む u ヶ国($u \geq s$)である確率 $p_2(u; K)$ を用いて表すと、第3期初の加盟国が自国を含む s ヶ国である確率は

$$p_3(s; K) = \sum_{u=s}^K p_2(u; K) \cdot \delta^s(1 - \delta)^{u-s} \cdot {}_{u-1}C_{s-1}$$

である。右辺に(19)式を代入すると

$$\sum_{u=s}^K \delta^{s+u}(1 - \delta)^{K-u+u-s} \cdot \frac{(K-1)!(u-1)!}{(u-1)!(K-u)!(s-1)!(u-s)!}$$

であり、整理すると

$$p_3(s; K) = \frac{\delta^s(1 - \delta)^{K-s}(K-1)!}{(s-1)!} \sum_{u=s}^K \frac{\delta^u}{(K-u)!(u-s)!} \\ = \frac{\delta^s(1 - \delta)^{K-s}(K-1)!}{(s-1)!} \cdot \frac{\delta^s(1 + \delta)^{K-s}}{(K-s)!} \\ = \delta^{2s}(1 - \delta)^{K-s}(1 + \delta)^{K-s} \cdot \frac{(K-1)!}{(s-1)!(K-s)!}$$

を得る。同様に、第4期初の加盟国が自国を含む s ヶ国である確率は

$$p_4(s; K) = \sum_{u=s}^K p_3(u; K) \cdot \delta^s(1 - \delta)^{u-s} \cdot {}_{u-1}C_{s-1} \\ = \frac{\delta^s(1 - \delta)^{K-s}(K-1)!}{(s-1)!} \sum_{u=s}^K \frac{\delta^{2u}(1 + \delta)^{K-u}}{(K-u)!(u-s)!} \\ = \delta^{3s}(1 - \delta)^{K-s}(1 + \delta + \delta^2)^{K-s} \cdot \frac{(K-1)!}{(s-1)!(K-s)!}$$

で、第 t 期初の加盟国が自国を含む s ヶ国である

確率は

$$p_t(s; K) = \delta^{s(t-1)}(1-\delta)^{K-s} \cdot \left(\sum_{u=1}^{t-1} \delta^{u-1} \right)^{K-s} \cdot \frac{(K-1)!}{(s-1)!(K-s)!} \quad (20)$$

となる。

\underline{K} ヶ国未満になるまで解散しない T 期間信頼形成戦略にすべての国が従っている場合、ひとつの国際組織において得られる期待利得をランダム・マッチング・プールにいる時点で評価すると

$$\sum_{t=T+1}^{\infty} \sum_{s=\underline{K}}^K p_t(s; K) \cdot (G(s) - c) \quad (21)$$

である。

また、現在の加盟国が s ヶ国であるときに、次期に加盟国が \underline{K} ヶ国を下回りランダム・マッチング・プールに戻る確率は

$$\sum_{u=1}^{\underline{K}-1} \delta^u (1-\delta)^{s-u} \cdot \frac{(s-1)!}{(u-1)!(s-u)!}$$

で、第1期初に K ヶ国が加盟していて第 t 期初にランダム・マッチング・プールに戻る確率は

$$\begin{aligned} \phi_t(K) &= \sum_{s=\underline{K}}^K p_{t-1}(s; K) \sum_{u=1}^{\underline{K}-1} \delta^u (1-\delta)^{s-u} \cdot \frac{(s-1)!}{(u-1)!(s-u)!} \\ &= \sum_{s=\underline{K}}^K \delta^{s(t-2)} \left(\sum_{v=1}^{t-2} \delta^{v-1} \right)^{K-s} \frac{(K-1)!}{(K-s)!} \sum_{u=1}^{\underline{K}-1} \frac{\delta^u (1-\delta)^{K-u}}{(u-1)!(s-u)!} \end{aligned}$$

である。

すべての国が \underline{K} ヶ国未満にならないければ解散しない t 期間信頼形成ルールに従っているとき、ランダム・マッチング・プールにおける生涯期待利得は

$$V_{K,\underline{K}}(C_T) = \frac{\sum_{t=T+1}^{\infty} \sum_{s=\underline{K}}^K p_t(s; K) \cdot (G(s) - c)}{1 - \sum_{t=2}^{\infty} \phi_t(K)} \quad (22)$$

で表される。協力期間中の第 τ 期に s ヶ国が加盟しているとき、ルールに従い続けた場合の今期以降の期待利得の合計は $V_{K,\underline{K},s}^* = \sum_{t=\tau}^{\infty} \sum_{u=\underline{K}}^s p_{t-\tau}(u; s) (G(u) - c) + \sum_{t=\tau+1}^{\infty} \phi_{t-\tau}(s) V_{K,\underline{K}}(C_T)$

である。一方、逸脱して非協力をプレイしてランダム・マッチング・プールに戻った場合の今期以降の期待利得の合計は

$$\tilde{V}_{K,\underline{K},s} = G(s-1) + \delta V_{K,\underline{K}}(C_T)$$

となる。 $s \geq \underline{K}$ なるすべての s について

$$V_{K,\underline{K},s}^* \geq \tilde{V}_{K,\underline{K},s} \quad (23)$$

が成立するとき、 \underline{K} ヶ国未満にならないければ解散しない t 期間信頼形成ルールが遵守される。

$s \geq \underline{K}$ なるすべての s について(23)式を満たす整数 T のうち最小のものを $T_{K,\underline{K}}$ で表すと、 $V_{K,\underline{K}}(C_{T_{K,\underline{K}}})$ が \underline{K} ヶ国未満になったら解散するルールで得られる最大の利得である。この $V_{K,\underline{K}}(C_{T_{K,\underline{K}}})$ が最大になるように \underline{K} を選択することが望ましい。

表5の数値例においては、6ヶ国モデルで公共財の生産関数が $G(x) = x$ 、費用が $c = 1.2$ 、政権存続確率が $\delta = .8$ の場合の最適な \underline{K} を調べている。紙面の都合上 $V_{6,\underline{K},s}^* - \tilde{V}_{6,\underline{K},s}$ の値は掲載していないが、 $s \geq \underline{K}$ なる s のうち(23)式が満たさないものがある場合には $V_{6,\underline{K}}(C_T)$ を[]内に表示した。つまり、 $V_{6,\underline{K}}(C_T)$ の値が[]なしで表示されている部分が、 \underline{K} 国未満になったら解散する T 期間信頼形成ルールが遵守される T と \underline{K} の組み合わせである。この数値例では、必要な信頼形成期間 $T_{6,\underline{K}}$ は、 \underline{K} が2ヶ国の場合には3期間、3ヶ国の場合には2期間、4~6ヶ国の場合には1期間になっている。遵守可能なものの中で最も利得が高いのは、 $\underline{K} = 4$ の1期間信頼形成ルールであることがわかる。

	$V_{6,2}(C_T)$	$V_{6,3}(C_T)$	$V_{6,4}(C_T)$	$V_{6,5}(C_T)$	$V_{6,6}(C_T)$
$T=0$	[13.0525]	[12.6219]	[12.2394]	[13.8113]	[24]
$T=1$	[8.24725]	[7.752]	6.94432	6.45786	6.29146
$T=2$	[5.20388]	4.67182	3.67654	2.62262	1.64927
$T=3$	3.28102	2.751	1.83085	0.992158	0.432346

[]内は、当該の \underline{K} と T の組み合わせのもとではインセンティブ条件(23)式が満たされない $s \geq \underline{K}$ があることを示している。

表5 数値例： $(K, G(x), c, \delta) = (6, x, 1.2, 0.8)$

	$V_{6,2}(C_T)$	$V_{6,3}(C_T)$	$V_{6,4}(C_T)$	$V_{6,5}(C_T)$	$V_{6,6}(C_T)$
$T=0$	[24.634]	[23.415]	[21.1003]	[20.2174]	[48]
$T=1$	[19.8337]	[18.6051]	[16.1643]	14.1866	25.5092
$T=2$	[15.9634]	[14.7274]	12.1985	9.57193	13.5566
$T=3$	[12.8446]	11.6058	9.06267	6.28714	7.20454
$T=4$	[10.3328]	9.10051	6.63443	4.04997	3.82879
$T=5$	[8.31089]	7.09871	4.79281	2.57081	2.03478
$T=6$	6.68411	5.508	3.42214	1.61335	1.08136

[]内は、当該の K と T の組み合わせのもとではインセンティブ条件(23)式が満たされない $s \geq K$ があることを示している。

表6 数値例： $(K, G(x), c, \delta) = (6, x, 1.2, 0.9)$

表6は、政権存続確率を $\delta = .9$ に変えたことを除けば表5と同じ設定の数値例である。必要な信頼形成期間 $T_{6,K}$ は、 K が2ヶ国の場合には6期間、3ヶ国の場合には3期間、4ヶ国の場合には2期間、5～6ヶ国の場合には1期間になっている。ここで遵守可能なものの中では、 $K = 6$ の1期間信頼形成ルールが圧倒的に高い利得である。

δ が大きいときには、解散してランダム・マッチング・プールに戻った際に次の国際組織で比較的短期間の信頼形成で協力を始められ、しかもその協力期間が長続きする。このため、欠員の生じた国際組織で細々と協力を続けるよりも、解散して常にパイの大きな国際組織に組み替えたほうが効率的となる。

5. 結び

本稿では、離脱可能な国際組織を通じて各期に繰り返し供給され、加盟国にのみ便益をもたらすタイプの国際公共財の供給行動をモデル化した。情報は国際組織間では分断されているものとし、国際組織は単なる国の集まりでルールの遵守を強制する権限は持たないものとした。このような設定のもとで、すべての国際組織が同じルールを採用したときに各国がそれを遵守する範囲内で、高い均衡期待利得をもたらすルールを考えた。初期からの協力は不可能であるが、一定の非協力期間を経てから協力を開始する信頼形成ルールによってある程度の協力は

可能となる。離脱や政権交代によって欠員が生じたときに、解散しないルールのほうが一旦形成した信頼を無駄にせずすむ反面、協力期間中のパイが小さくなる上に逸脱を防ぐために長い信頼形成期間が必要になる。割引因子が大きい場合には後者の効果が支配的となり、1ヶ国でも欠員が生じたら即座に解散するルールのほうが効率的である。

今回の分析はまだ手始めであり、いくつかの今後の発展の方向性が考えられる。まず、本稿で用いた均衡概念は、他のすべての国がルールに従っているときに単独で逸脱する誘因がないという意味でナッシュ均衡である。このため、国際組織が解散すべきときには自動的に解散するとみなすことができた。しかしながら、もしも複数の国が結託して逸脱するならば、例えば6ヶ国中1ヶ国でも欠けたら解散するルールのところを5ヶ国で国際機関を存続させてしまうかもしれない。ルールが遵守されるためには、単なるナッシュ均衡ではなく強均衡(strong equilibrium)となる必要がある。

次に、今回はすべての国が単一のルールに従う均衡にのみ着目したが、ルールに従う国と従わない国が共存する均衡や、国際組織によって違うルールを採用するような均衡もあるかもしれない。また、割引因子 δ は政権の存続確率で各国に共通としたが、実際には割引因子は他の要因も反映して国ごとに異なっているのが自然であろう。非対称な均衡、非対称な割引率、割引率に関する情報の非対称性を許容した分析は、多様な国が共存する現実の社会における国際協調を考えるのに役立つはずである。

また、本稿では情報は国際組織内の行動に関しては完全な一方で、国際組織間では完全に分断されているとした。これは、現実には当事者以外には、諍いが生じた場合にどの国の言い分が正しいのかの判断が難しかったり、国際組織が解散した場合に円満な解散なのか逸脱の結果なのか分からないことも多く、世界中の国の行動を評価する中立的な情報集約機関も存在しない点を反映した仮定である。しかしながら、現実にはまったく評判が伝わらないわけでは

ないし、理論的にも中立的な情報集約機関がない場合にFujiwara-Greve, Okuno-Fujiwara and Suzuki (2011)のようにプレイヤーが自発的に情報伝達を行う可能性も残されている。あるいは、情報集約のための同盟を作り、ランダム・マッチング・プールではなくその加盟国の中から国際組織を形成することでより協力が強化されるかもしれない。

参考文献

- 井堀利宏(2009)「グローバル公共財の自発的供給」吉田和男・井堀利宏・瀬島誠(編)『地球秩序のシミュレーション分析』日本評論社。
- 島義博(2009)「グローバル公共財と提携形成：提携形ゲームからの展望」吉田和男・井堀利宏・瀬島誠(編)『地球秩序のシミュレーション分析』日本評論社。
- 橋本敬・上原安浩(2009)「3人ゲームにおける結託とジレンマ」吉田和男・井堀利宏・瀬島誠(編)『地球秩序のシミュレーション分析』日本評論社。
- 吉田和男・井堀利宏・瀬島誠(編)(2009)『地球秩序のシミュレーション分析』日本評論社。
- Carmichael, L. and B. MacLeod (1997), "Gift Giving and the Evolution of Cooperation," *International Economic Review*, 38:485-509.
- Datta, S. (1996), "Building Trust," Working Paper, London School of Economics.
- Fujiwara-Greve, T., and M. Okuno-Fujiwara (2009), "Voluntarily Separable Repeated Prisoner's Dilemma," *Review of Economic Studies*, 76:993-1021.
- Fujiwara-Greve, T., M. Okuno-Fujiwara and N. Suzuki (2011), "Voluntarily Separable Repeated Prisoner's Dilemma with Reference Letters," *Games and Economic Behavior*, forthcoming.
- Ghosh, P., and D. Ray (1996): "Cooperation in Community Interaction without Information Flows," *Review of Economic Studies*, 63:491-519.
- Nakagawa, S., M. Sejima and S. Fujimoto (2010) "Alliance Formation and Better-shot Global Public Goods: Theory and Simulation," *Evolutionary and Institutional Economics Review*, 6:201-225
- Saijo, T. and T. Yamato (1999), "A Voluntary Participation Game with a NonExcludable Public Good," *Journal of Economic Theory*, 84:227-242.