

2007 年度

学位論文

森林の生物資源開発をめぐる途上国と先進国企業の
利益配分問題に関するゲーム論的研究

地球環境学研究科地球環境学専攻

博士前期課程



吉田 健彦

概要

原生林の消失が危機的な状況にある中で、一方、原生林由来の生物資源開発への動きはますます活発化している。『生物多様性に関する条約』では「遺伝資源の利用から生ずる利益の公正かつ衡平な配分」¹を謳っているが、しかしどのような配分が公正かつ衡平なのか、それを決めるための具体的な手順については述べられていない。本論文では、生物資源開発を行う先進国企業と、それらの資源を持つ途上国の二者からなるモデルを考え、ゲーム論を利用し、互いの行動がどのように利潤、および森林保全面積に影響を与えるのかを考察した。そして結論として、双方にとって合意可能な協力を行うことにより、互いの利潤、および森林保全面積が大幅に増大すること、および現実世界においてそのような合意を形成するためのいくつかの具体的な提言を示すことができた。

はじめに

原生林の消失は、その速度は鈍化していると言われつつも未だ危機的な状況にある。原生林は、二酸化炭素吸収、土砂災害防止、水源涵養機能のみならず、多様な生物群を保持する点においても重要な役割を果たしている。近年の森林減少の大半は、全生物種の40～90%が存在すると言われている熱帯雨林地域の原生林におけるものである²。ある推計によれば、地球上では日々100以上の種が絶滅しつつあり、この割合は今後数十年のうちに2倍ないし3倍になることを示唆している³。生物多様性を維持する場としての原生林は、一度失われてしまえば再植林によって人工的に再生することは極めて難しく、その意味において二酸化炭素の吸収源としての森林とは決定的に異なっていると言える。しかし、原生林は京都メカニズムにおいてCO₂吸収源としてカウントされないなど、森林保護のためのインセンティブを持っているとはいいがたい⁴。これは成熟した原生林がCO₂収支において効果を持たないと考えられているためだと言われているが、しかしそのために、むしろCDMがCO₂クレジット獲得のための大規模な原生林の伐採と人工林化への誘因となる恐れさえある。

一方、原生林が持つ生物資源の経済的価値については、近年ますます注目を集めるよう

¹ 『生物多様性に関する条約(Convention on Biological Diversity)』第1条 目的

² OECD編集, 環境庁地球環境部監訳(1995)『OECD:貿易と環境』, p178, 中央法規

³ ジョゼフ・R・デ・ダルジャン(新田功他訳)(2005)『環境倫理学—環境哲学入門』, p15, 出版研

⁴ ただし、インドネシアが森林破壊を防止するための特別基金と市場取引メカニズムをCOP13に議題として提案することが示されるなど、その流れにも変化が起きつつあると言える。

になっている⁵。しかし、多様な生物資源を抱える原生林の多くが途上国に存在し、その生物資源を開発する技術は先進国に存在するという不均衡が、問題の解決を難しくしている。生物資源に対しては、伝統的にそれが存在する国家の主権が認められておらず⁶、従って企業は途上国に存在する生物資源を自由に採取し、そこから得られる利益を独占してきたという歴史がある。しかしこれは、遺伝資源の主な供給側である途上国側からすれば、それを利用する技術を持たないが故に、先進国が一方的に生物資源を奪い、商品化し、しかも自分たちには何ら利益配分がされないという、強い不公平感があつた。

一例として、マダガスカル島原産の植物ニチニチソウ(*Catharanthus roseus*)は、民間療法において薬として用いられてきた。インドでは蜂に刺されたときに、中南米では肺の鬱血や炎症、のどの痛みなどに、カリブ海諸国では眼病に効くとされており、またマダガスカルでは、伝統的に糖尿病の治療薬として用いられてきた。それらの伝統的知識に米国の製薬企業Eli Lilly社が注目し、1960年代、白血球数を減少させるとともに、骨髄の活性を押さえるビンブラスチン(vinblastine)とビンクリスチン(vincristine)という二種類のアルカロイドの単離に成功した。Eli Lilly社は特許を取得し、ビンブラスチンはホジキン病、カポジ肉腫、神経芽腫、乳癌の、ビンクリスチンは小児白血病の特効薬として、年間1億8千万ドルもの売り上げをもたらした。また、この薬によって、小児白血病の生存率は10%から95%と跳ね上がった。しかし、マダガスカル政府及びニチニチソウの自生地域の住民に対して利益が還元されることはなかった。途上国はこれに反発したが、当時遺伝資源や伝統的知識は「人類の共同遺産」であると考えられており、Eli Lilly社の行為は法的にも正当なものであつた⁷。

他方、途上国、特に薪炭材の取得や焼畑などにより森林面積の減少に直接関わっている住民たちからすれば、原生林の消費は自らの日々の生活のため、すなわち生存のために必要な行為である。このような状況から考えるに、原生林保護を実現するためには、単に環境の持つ価値や重要性を訴えるだけでは効果がなく、そこから得られる利益を、企業と途上国の間で、双方にとってより良い結果をもたらすような形で配分する必要があることは自明であろう。

⁵ 「生物資源」には、現に利用され若しくは将来利用されることがある又は人類にとって現実の若しくは潜在的な価値を有する遺伝資源、生物又はその部分、個体群その他生態系の生物学的な構成要素を含む。〔『生物多様性条約』第2条 用語〕

⁶ ただし『生物の多様性に関する条約』においても、認められているのはあくまで「主権的権利」(前文、第3条、および第15条)であり、「主権」ではない。

⁷ 財団法人 パイオインダストリー協会(2006)『平成17年度環境対応技術開発等(生物多様性条約に基づく遺伝資源へのアクセス促進事業)委託事業報告書 生物多様性条約に基づく遺伝資源へのアクセス促進事業 平成17年度報告書 一 資料編 一』, p313-314。その他の例としては、パリー・C・フィールド(秋田次郎他訳)(2005)『環境経済学入門』, p384, 日本評論社、あるいは西井正弘(2005)『地球環境条約』, p122, 有斐閣などを参照。

このような流れの中で、生物多様性に関する条約(Convention on Biological Diversity)が1992年に締結された。当初、生物多様性条約は、ラムサール条約や世界遺産条約と類似した構造を持つ、自然保護を強く意図した条約として想定されていた。これは主に先進国側の主張によるものであった。先んじて工業化を成功させ、その結果として富と同時に環境汚染をも手にした先進諸国は、自然環境の重要性を認識し、かつその保護を主張する余裕も得た。しかし、現在に至るまで工業化による恩恵を得ているとは言えず、それどころか一層の貧困に喘ぐ途上国からすれば、環境保護は先進国の身勝手にしか過ぎず、自国の経済的発展の足かせとなるものでしかない。このような理由から、自然保護を中心とした構想は、経済発展を阻害するものとして途上国側の反発を招き、採用されなかった。これは、条約名として提案されていた「生物多様性保全条約」から「保全」という単語が削除されたことから窺える。一方、遺伝資源については、途上国側には自国の持つ遺伝資源が経済資源として有効利用されることへの期待感もあった。また、特に医薬品や食糧生産などの開発において重要な遺伝資源を巡っては、その利益配分を巡り大きな対立があった。

生物多様性条約では、自国の生物資源に対して、各締約国が開発に関する主権的権利を有する(第3条)。しかしその一方で、他国がその資源を利用する際に、環境上適正に利用できるように条件を整備するようにも求められている(第15条2項)。

上述の例で触れたような伝統的知識については、それによって得られた利益の衡平な配分、およびそのような伝統的知識と文化の保護が奨励されている(第8条(j))。また、それとは逆方向の流れとして、先進諸国には遺伝資源を利用した開発技術の、「相互に合意する条件」下における技術移転が求められている(第16条3項)。

しかし、ではこのような要求事項がどのような条件下で実現可能なのか、また具体的にどの程度の配分が適正なのかを判断する方法については、生物多様性条約では何ら述べられていない。途上国側は、2010年までにボン・ガイドラインを法的拘束力を持ったものへ格上げすることを目指しているが⁸、その成就是、これらの問いに対する明確かつ合意可能な回答が出されない限り悲観的なものとなるだろう。

そこで本論では、原生林の所持者および消費者としての途上国、そして原生林から得られる生物資源によって商品を生産し貨幣財を得る先進国企業という二者からなるモデルを考え、ゲーム理論により分析する。

途上国による原生林の消費も、先進国企業による遺伝資源利用の独占も、つまるところ利益を巡る争いであり、そうである以上、法的枠組みのみでこの問題を解決するのは難し

⁸ 西井, 前掲書, p126

い。そのため、双方にとってより良い結果をもたらすようなシステムが存在するのかどうか、存在するとすればその条件は何かを考察する必要がある。その構図を、利益の争奪から、協力による利潤の増加に変えられるのであれば、それは極めて強靱な森林保全の方法になるだろう。

1 モデル

生物資源の経済的価値を評価する先行研究としては、宮崎⁹、Pearce and Moran(1994)¹⁰、Simpson, *et al.*(1996)¹¹などが挙げられるが、これらのモデルには企業と途上国間の利益配分は組み込まれていない。また、林¹²は途上国への利益配分に関する詳細な考察を行っているが、その主題はあくまで利益配分の最大化にあり、森林保全については触れられていない。

そこで、本論文では、生物多様性を保持する場としての原生林を所有する途上国と、生物資源から商品を開発する技術を持った先進国企業の二者からなるモデルを考え、ゲーム理論を用いて、適正な利益配分とその結果保全される森林面積について考察することを試みる。倫理的、法的なアプローチを排し、純粹に数学的な枠組みのみによって考察することで、ある程度具体的な値を提示できること、そして当事者双方に対する客観的な説得力を持つことが期待できる。

ここで企業とは、先行研究に倣い、特に製薬企業を想定している。その理由は、第一に、生物資源から開発される製品（医薬品、植物薬、農業産物、鑑賞園芸産物、植物保護産物、化粧品、その他）の中で、ここまで述べてきたように医薬品の売り上げが大きいこと、そして第二に、そこから得られる利潤が森林から得られる他の利潤よりも大きいことにある。他の利潤とは、例えばエコツーリズムによる利益などが考えられるが、しかしケニアにおける外国人のサファリ観光によってケニアが得る外貨は、年間約2億ドルに過ぎないという¹³。一方、前述のニチニチソウの例で言えば、商品化に成功したわずかひとつの生物資源がもたらす利益は、年間3億ドルにも達する。以上のような点から考えて、生物資源由来の医薬品に注目することには意義があると言えるだろう。

企業は、途上国にある面積 F の森林を生物探査し、投資額 I により決定される数 n のサンプルを採取する。企業はこの n 個のサンプルをすべてスクリーニングにかけるとする。企業の投資額 I は、採取数 n の関数

$$I = cn^\varepsilon \quad (1 < \varepsilon) \tag{1.1}$$

として表される。 ε が 1 より大きいのは、採取数が増えれば増えるほど、今までに採取していなかった種を発見し、採取するのに必要なコストが増えるためである。同一のサン

⁹ 宮崎正浩「微生物資源の経済価値」環境経済政策学会編(2006)『環境経済・政策学会年報第11号』, p293-304

¹⁰ 同上書, p291

¹¹ 同上書, p292

¹² 林希一郎(2007)『生物遺伝資源アクセスと利益配分に関する理論と実際』, 大学教育出版

¹³ 環境庁地球環境部, 前掲書, p201

ルを大量に採取するのであれば、規模の増大に伴う限界コストの削減が可能かもしれないが、ここでは新たに採取するサンプルは必ずそれまでに採取したサンプルとは異なることが仮定されているため、未知のサンプルを新たにひとつ採取するのに必要となる限界コストが増加していくことになる。また、 I には採取コストだけでなくスクリーニングに必要なコストも含まれているが、スクリーニング数の増加によるコストの低減は仮定していない。以降本論では、企業の選択を投資額 I ではなく採取数 n で考える。

途上国は、初期面積 F_0 の森林を $(F_0 - F)$ だけ消費することにより、 $v(F_0 - F)$ だけの貨幣財を得ることができる。ここで言う消費とは、主に焼畑、薪炭材、小規模および大規模プランテーション化、そして商業伐採など、要するに原生林の回復不可能な消費を包括的に考えている。

途上国は消費する原生林面積 F を、企業は残存する原生林におけるサンプルの採取数 n を、それぞれ選択することができる。それ以外のパラメータはすべて外生的に決定される。

ある種を採取したとき、それが有用種である確率 p を

$$p = aF^\delta \quad (0 < a, 0 < \delta < 1, 0 \leq p \leq 1) \quad (1.2)$$

とする。すなわち、有用種の存在確率は森林面積に依存する。森林面積が増大すれば、採取したサンプルが有用種である確率も増大するが、しかしその増加率は逓減する。ここでの基本的な考え方は種数-面積曲線に拠っている¹⁴。

このとき、開発に成功したひとつの医薬品当たりの平均売上から平均固定費用を引いたものを R とすると、期待利益 π は

$$\pi(n, F) = RaF^\delta n \quad (1.3)$$

となる。この期待利益の配分率を、途上国を θ 、企業を $1 - \theta$ ($0 < \theta < 1$) とする。

企業の利潤を π_c 、途上国の利潤を π_d とすると

$$\pi_c = (1 - \theta)RaF^\delta n - cn^\varepsilon \quad (1.4)$$

$$\pi_d = \theta RaF^\delta n + v(F_0 - F) \quad (1.5)$$

¹⁴ 鷲谷いづみ、矢原徹一(2000)『保全生態学入門』, p124-128, 文一総合出版

ここで、少なくとも

$$\pi_c > 0 \tag{1.6}$$

$$\pi_d - vF_0 > 0 \tag{1.7}$$

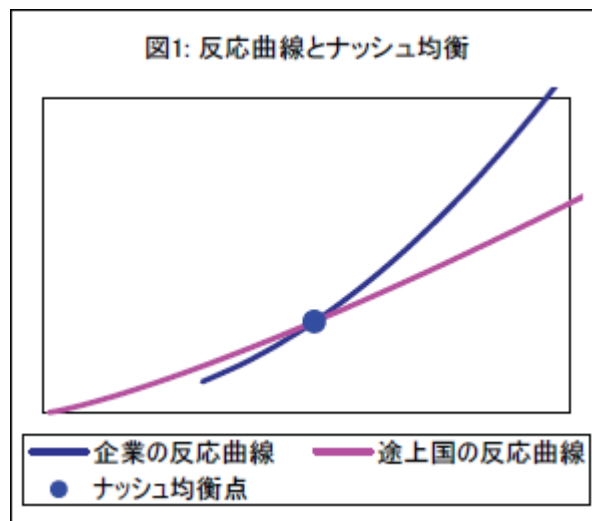
とする。この条件が満たされない場合、企業は途上国へ一切投資をせず、途上国は森林を完全に消費することになり、 $\pi_c = 0$ 、 $\pi_d = vF_0$ となる。

ここまでに構築したモデルが、本論文の基本となる。以降、このモデルをゲーム論的に分析することで、様々な結果を導くことができる。

2 ナッシュ均衡

前章で構築したモデルにおいて、途上国と企業が非協力な場合と協力した場合のそれぞれにおいて、各々が得る利潤と森林保全面積がどう変化するかを考察する。前者は非協力2人ゲームにおけるナッシュ均衡を、後者は協力2人ゲームにおけるナッシュ交渉解を求めることを意味する。

本章では、まずナッシュ均衡を求める。ナッシュ均衡においては、相手がどのような選択をしたとしても、自分の選択がそれに対する最適反応となっている。従って、企業と途上国の反応曲線の交点では、互いに自らの選択を変える動機を持たず、均衡することになる。このような選択の組をナッシュ均衡と呼ぶ。下にその例を示す。



後で述べるように、このナッシュ均衡が、企業と途上国間の交渉が決裂した際の基準点となる。現実社会に照応させて考えれば、これは生物多様性条約以前の世界を近似的に表している。すなわち企業は途上国に対して何ら許可を求めることなく生物資源を採取し、その利益配分は自らの利潤を最大化するように決定する。そのため途上国側は森林を保全するインセンティブを持たず、確実な利潤をもたらす森林消費に励むことになる。

後の数値例でも触れるが、このような相互作用により森林はほとんど保全されなくなり、企業の利潤は低くなる。途上国の利潤は森林消費により一時的には高くなるだろうが、それは再生不可能な消費であるために、長期的にみれば結局低下することになる。

2-1 企業の反応曲線

(1.4)を n で偏微分して

$$\frac{\partial \pi_c}{\partial n} = (1-\theta)RaF^\delta - c\varepsilon n^{\varepsilon-1} = 0$$

従って企業の反応曲線は

$$(1-\theta)RaF^\delta - c\varepsilon n^{\varepsilon-1} = 0 \quad (2.1)$$

企業の反応曲線の大まかな形を理解するために、全微分して傾きを求める。

$$-c\varepsilon(\varepsilon-1)n^{\varepsilon-2}dn + (1-\theta)Ra\delta F^{\delta-1}dF = 0$$

$$\frac{dF}{dn} = \frac{c\varepsilon(\varepsilon-1)n^{\varepsilon-2}}{(1-\theta)Ra\delta F^{\delta-1}} = \frac{(\varepsilon-1)F}{\delta n} > 0 \quad (2.2)$$

すなわち、企業の反応曲線は常に正の傾きを持つ。

2-2 途上国の反応曲線

(1.5)を F で偏微分して

$$\frac{\partial \pi_d}{\partial F} = \theta Ra\delta F^{\delta-1}n - v = 0$$

従って途上国の反応曲線は

$$\theta Ra\delta F^{\delta-1}n - v = 0 \quad (2.3)$$

途上国の反応曲線の大まかな形を理解するために、全微分して傾きを求める。

$$\theta Ra\delta F^{\delta-1}dn + \theta Ra\delta(\delta-1)F^{\delta-2}ndF = \theta Ra\delta F^{\delta-2}\{(\delta-1)ndF + Fdn\} = 0$$

$$\frac{dF}{dn} = -\frac{F}{(\delta-1)n} > 0 \quad (2.4)$$

すなわち、途上国の反応曲線は常に正の傾きを持つ。

2-3 ナッシュ均衡

(2.1)、(2.3)より

$$\begin{cases} (1-\theta)RaF^\delta - c\epsilon n^{\epsilon-1} = 0 \\ \theta Ra\delta F^{\delta-1} n - v = 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

を同時に満たす点がナッシュ均衡となる。

これを解いて

$$F = \frac{\theta c \delta \epsilon}{(1-\theta)v} n^\epsilon \quad (2.5)$$

(2.4)下式に(2.5)を代入して

$$n = \left\{ \frac{c\epsilon}{(1-\theta)Ra} \left(\frac{(1-\theta)v}{\theta c \delta \epsilon} \right)^\delta \right\}^{\frac{1}{\delta\epsilon-\epsilon+1}} \quad (2.6)$$

(2.5)、(2.6)より

$$F = \left\{ \left(\frac{c\epsilon}{(1-\theta)Ra} \right)^\epsilon \left(\frac{(1-\theta)v}{\theta c \delta \epsilon} \right)^{\epsilon-1} \right\}^{\frac{1}{\delta\epsilon-\epsilon+1}} \quad (2.7)$$

従ってナッシュ均衡 (n_{NE}, F_{NE}) の座標は

$$\left(\left\{ \frac{c\epsilon}{(1-\theta)Ra} \left(\frac{(1-\theta)v}{\theta c \delta \epsilon} \right)^\delta \right\}^{\frac{1}{\delta\epsilon-\epsilon+1}}, \left\{ \left(\frac{c\epsilon}{(1-\theta)Ra} \right)^\epsilon \left(\frac{(1-\theta)v}{\theta c \delta \epsilon} \right)^{\epsilon-1} \right\}^{\frac{1}{\delta\epsilon-\epsilon+1}} \right) \quad (2.8)$$

ナッシュ均衡はこのように複雑な形になってはいるが、しかしその値は常に正となる。採取数 n および保全森林面積 F は現実の世界では必ず正の値を持たなければならないので、ここで求めたナッシュ均衡が少なくとも現実に存在可能であることが分かる。

2-4 ナッシュ均衡における利潤

次に、ナッシュ均衡における企業と途上国の利潤を求める。後述するナッシュ交渉解は利潤を基準にして考えるので、ここでナッシュ均衡における利潤を求めておく必要がある。

(n_{NE}, F_{NE}) における企業の利潤を $\bar{\pi}_{NEc}$ 、途上国の利潤を $\bar{\pi}_{NEd}$ とする。

(1.4)、(1.5)より、

$$\bar{\pi}_{NEc} = (1-\theta)RaF_{NE}^{\delta}n_{NE} - cn_{NE}^{\varepsilon} \quad (2.9)$$

$$\bar{\pi}_{NEd} = \theta RaF_{NE}^{\delta}n_{NE} + v(F_0 - F_{NE}) \quad (2.10)$$

(2.9)に(2.8)を代入して

$$\begin{aligned} \bar{\pi}_{NEc} &= (1-\theta)RaF_{NE}^{\delta}n_{NE} - cn_{NE}^{\varepsilon} \\ &= cn_{NE} \left[\frac{(1-\theta)Ra}{c} \left\{ \left(\frac{c\varepsilon}{(1-\theta)Ra} \right)^{\varepsilon} \left(\frac{(1-\theta)v}{\theta c \delta \varepsilon} \right)^{\varepsilon-1} \right\}^{\frac{\delta}{\delta\varepsilon-\varepsilon+1}} - \left\{ \frac{c\varepsilon}{(1-\theta)Ra} \left(\frac{(1-\theta)v}{\theta c \delta \varepsilon} \right)^{\delta} \right\}^{\frac{\varepsilon-1}{\delta\varepsilon-\varepsilon+1}} \right] \\ &= cn_{NE} \left[\varepsilon \left\{ \frac{c\varepsilon}{(1-\theta)Ra} \left(\frac{(1-\theta)v}{\theta c \delta \varepsilon} \right)^{\delta} \right\}^{\frac{\varepsilon-1}{\delta\varepsilon-\varepsilon+1}} - \left\{ \frac{c\varepsilon}{(1-\theta)Ra} \left(\frac{(1-\theta)v}{\theta c \delta \varepsilon} \right)^{\delta} \right\}^{\frac{\varepsilon-1}{\delta\varepsilon-\varepsilon+1}} \right] \\ &= (\varepsilon-1)cn_{NE} \left\{ \frac{c\varepsilon}{(1-\theta)Ra} \left(\frac{(1-\theta)v}{\theta c \delta \varepsilon} \right)^{\delta} \right\}^{\frac{\varepsilon-1}{\delta\varepsilon-\varepsilon+1}} \\ &= (\varepsilon-1)cn_{NE}^{\varepsilon} > 0 \end{aligned} \quad (2.11)$$

$\varepsilon > 1$ より、ナッシュ均衡における企業の利潤は必ず正となる。

(2.10)に(2.8)を代入して

$$\begin{aligned} \bar{\pi}_{NEd} &= \theta RaF_{NE}^{\delta}n_{NE} + v(F_0 - F_{NE}) \\ &= F_{NE} \left\{ \theta RaF_{NE}^{\delta-1}n_{NE} - v \right\} + vF_0 \\ &= F_{NE} \left[\theta Ra \left\{ \left(\frac{c\varepsilon}{(1-\theta)Ra} \right)^{\varepsilon} \left(\frac{(1-\theta)v}{\theta c \delta \varepsilon} \right)^{\varepsilon-1} \right\}^{\frac{\delta-1}{\delta\varepsilon-\varepsilon+1}} \left\{ \frac{c\varepsilon}{(1-\theta)Ra} \left(\frac{(1-\theta)v}{\theta c \delta \varepsilon} \right)^{\delta} \right\}^{\frac{1}{\delta\varepsilon-\varepsilon+1}} - v \right] + vF_0 \end{aligned}$$

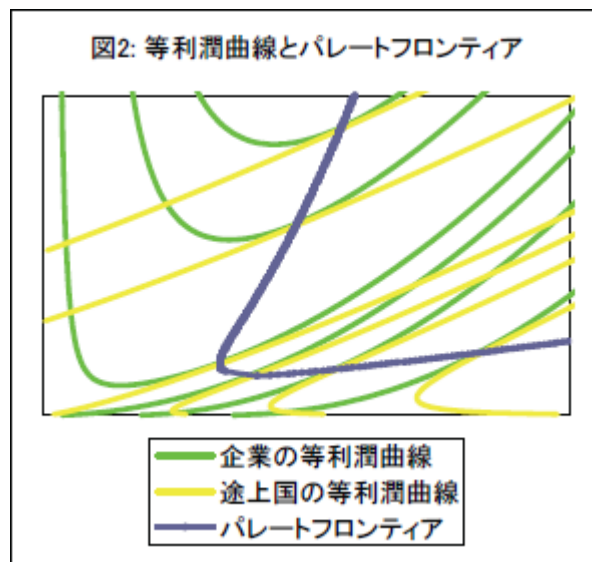
$$\begin{aligned}
&= F_{NE} \left\{ \theta Ra \left(\frac{c\varepsilon}{(1-\theta)Ra} \right)^{\frac{\varepsilon(\delta-1)}{\delta\varepsilon-\varepsilon+1} + \frac{1}{\delta\varepsilon-\varepsilon+1}} \left(\frac{(1-\theta)v}{\theta c \delta \varepsilon} \right)^{\frac{(\varepsilon-1)(\delta-1)}{\delta\varepsilon-\varepsilon+1} + \frac{\delta}{\delta\varepsilon-\varepsilon+1}} - v \right\} + vF_0 \\
&= F_{NE} \left\{ \theta Ra \frac{c\varepsilon}{(1-\theta)Ra} \frac{(1-\theta)v}{\theta c \delta \varepsilon} - v \right\} + vF_0 \\
&= \left(\frac{1-\delta}{\delta} \right) vF_{NE} + vF_0 > 0 \tag{2.12}
\end{aligned}$$

$0 < \delta < 1$ より、ナッシュ均衡における途上国の利潤は必ず正となる。

以上、ナッシュ均衡における企業と途上国の利潤は必ず正となることが分かった。第1章において双方の利潤が必ず正であることをモデルの前提とした。ここで明らかにしたように、ナッシュ均衡はこの前提を満たしている。すなわち、ある程度の現実性を持っていることが言える。

3 パレートフロンティア

この章では、本モデルにおけるパレートフロンティアについて考察する。パレートフロンティアとは、企業と途上国の利潤の組を考えたときに、少なくとも一方の利潤を減少させることなく移動することが不可能な点の集合を指す。下図で、企業の等利潤曲線は上側に位置するほど利潤が高く、途上国の等利潤曲線は右側に位置するほど利潤が高いとする。すると、パレートフロンティア上からのどのような移動も、少なくとも一方の利潤を下げることになることが分かる。



パレートフロンティア上のすべての点は効率的だが、しかしその内のどの点を選ぶかについては自明ではない。例えば企業の利潤が 100 億円で途上国の利潤が 200 億円である場合、そして企業の利潤が 200 億円で途上国の利潤が 100 億円である場合のそれぞれがパレート最適であるとして、その 2 つのどちらを選択すべきかについては、パレートフロンティアはいかなる指針も与えることはできない。その問いに答えるには、この章での結果を踏まえた上で、ナッシュ交渉解によって改めて考える必要がある。

しかしパレートフロンティアについての考察は、単にナッシュ交渉解を求めるための準備段階として以上の意義を持つ。生物多様性条約により、我々はようやくにして生物資源の効率的な利用の重要性に気づき始めたが、しかしそれによって得られる利潤の「公正かつ衡平」な配分については、いまだに明確な基準を示すことができないでいる。企業と途上国のそれぞれの主張には、それなりの正当性があるかもしれない。しかし、互いの主張が唯一の効率的な解でないこともまた事実である。このように、パレートフロンティアは、企業と途上国の合意を巡るせめぎ合いの範囲を近似的に表していると思われる。

3-1 企業の等利潤曲線

パレートフロンティアを求めるために、企業と途上国双方の等利潤曲線を求める。互いの等利潤曲線の接点が、パレートフロンティアとなる。まず企業の等利潤曲線について、企業の得るある一定の利潤を $\bar{\pi}_c$ とすると、(1.4)より

$$(1-\theta)RaF^\delta n - cn^\varepsilon - \bar{\pi}_c = 0 \quad (3.1)$$

n を固定して F を増加させると利潤も増加するので、上に位置する等利潤曲線の方がより利潤が大きい。

(3.1)を全微分して

$$\frac{dF}{dn} = -\frac{(1-\theta)RaF^\delta - c\varepsilon n^{\varepsilon-1}}{(1-\theta)Ra\delta F^{\delta-1}n} \quad (3.2)$$

傾き 0 での座標を求めると

$$(1-\theta)RaF^\delta - c\varepsilon n^{\varepsilon-1} = 0 \quad (3.3)$$

従って

$$\begin{cases} (1-\theta)RaF^\delta - c\varepsilon n^{\varepsilon-1} < 0 \Rightarrow \frac{dF}{dn} > 0 \\ (1-\theta)RaF^\delta - c\varepsilon n^{\varepsilon-1} > 0 \Rightarrow \frac{dF}{dn} < 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

従って、企業の等利潤曲線は $(1-\theta)RaF^\delta - c\varepsilon n^{\varepsilon-1} = 0$ で傾きが逆転している (図 2 参照)。

3-2 途上国の等利潤曲線

次に途上国の等利潤曲線を求める。途上国の得るある一定の利潤を $\bar{\pi}_d$ として、(1.5)より

$$\theta RaF^\delta n + v(F_0 - F) - \bar{\pi}_d = 0 \quad (3.5)$$

F を固定して n を増加させると利潤も増加するので、右に位置する等利潤曲線の方がより

利潤が大きい。

(3.5)を全微分して

$$\frac{dF}{dn} = -\frac{\theta RaF^\delta}{\theta Ra\delta F^{\delta-1}n - v} \quad (3.6)$$

従って

$$\begin{cases} \theta Ra\delta F^{\delta-1}n - v < 0 \Rightarrow \frac{dF}{dn} > 0 \\ \theta Ra\delta F^{\delta-1}n - v > 0 \Rightarrow \frac{dF}{dn} < 0 \end{cases} \quad (3.7)$$

従って、途上国の等利潤曲線は $\theta Ra\delta F^{\delta-1}n - v = 0$ で傾きが逆転している（図 2 参照）。

3-3 パレートフロンティア

パレートフロンティアは、途上国におけるある利潤が与えられたとき、その制限を満たす中で企業の利潤を最大化する問題を解くことで求められる。すなわち、

$$\text{Max } (1-\theta)RaF^\delta n - cn^\varepsilon$$

$$\text{s.t. } \theta RaF^\delta n + v(F_0 - F) - \pi_d = 0$$

を解くことになる。

(1.4)、(1.5)より、ラグランジュ法を用いて

$$L(n, F, \lambda) = (1-\theta)RaF^\delta n - cn^\varepsilon + \lambda \{ \theta RaF^\delta n + v(F_0 - F) - \pi_d \} \quad (3.8)$$

$$\frac{\partial L}{\partial n} = (1-\theta)RaF^\delta - c\varepsilon n^{\varepsilon-1} + \lambda \theta RaF^\delta = 0 \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial F} = (1-\theta)Ra\delta F^{\delta-1}n + \lambda(\theta Ra\delta F^{\delta-1}n - v) = 0 \quad (3.10)$$

(3.9)、(3.10)より

$$\frac{(1-\theta)RaF^\delta - c\varepsilon n^{\varepsilon-1}}{(1-\theta)Ra\delta F^{\delta-1}n} = \frac{\theta RaF^\delta}{\theta Ra\delta F^{\delta-1}n - v} \quad (3.11)$$

(3.11)が成立するのは、(3.4)、(3.7)の傾きから考えて

i) 等利潤曲線の傾きが互いに正の場合、すなわち $(1-\theta)RaF^\delta - c\epsilon n^{\epsilon-1} < 0$ かつ

$$\theta Ra\delta F^{\delta-1}n - v < 0$$

の場合、あるいは

ii) 等利潤曲線の傾きが互いに負の場合、すなわち $(1-\theta)RaF^\delta - c\epsilon n^{\epsilon-1} > 0$ かつ

$$\theta Ra\delta F^{\delta-1}n - v > 0$$

の場合となる。

しかし、ii) の場合は、図 1、図 2 から明らかなように、企業、途上国が互いに利潤を増やすような n 、 F が必ず存在するので、パレートフロンティアではない。

従ってパレートフロンティアにおいては

$$\begin{cases} (1-\theta)RaF^\delta - c\epsilon n^{\epsilon-1} < 0 \\ \theta Ra\delta F^{\delta-1}n - v < 0 \end{cases} \quad (3.12)$$

が成立している。

(3.11)、(3.12)より

$$(1-\theta)vRaF^\delta + \theta Ra\delta F^{\delta-1}nc\epsilon n^{\epsilon-1} - vc\epsilon n^{\epsilon-1} = 0 \quad (3.13)$$

ただし $(1-\theta)RaF^\delta - c\epsilon n^{\epsilon-1} < 0$ かつ $\theta Ra\delta F^{\delta-1}n - v < 0$

(3.13)が、本モデルを解く上で最も基本的な式となる。

(3.13)を変形して

$$\begin{aligned} & (1-\theta)vRaF^\delta + \theta Ra\delta F^{\delta-1}nc\epsilon n^{\epsilon-1} - vc\epsilon n^{\epsilon-1} \\ &= RaF^\delta n \left\{ (1-\theta)\frac{v}{n} + \theta\delta F^{-1}c\epsilon n^{\epsilon-1} \right\} - vc\epsilon n^{\epsilon-1} = 0 \end{aligned}$$

従って

$$RaF^\delta n = \frac{vc\epsilon n^\epsilon}{(1-\theta)v + \theta\delta F^{-1}c\epsilon n^\epsilon} = \frac{c\epsilon n^\epsilon vF}{\theta\delta\epsilon n^\epsilon + (1-\theta)vF} \quad (3.14)$$

従ってパレートフロンティアにおいては

$$\begin{cases} \pi_c = \frac{(1-\theta)c\varepsilon n^\varepsilon vF}{\theta\delta\varepsilon cn^\varepsilon + (1-\theta)vF} - cn^\varepsilon \\ \pi_d = \frac{\theta c\varepsilon n^\varepsilon vF}{\theta\delta\varepsilon cn^\varepsilon + (1-\theta)vF} + v(F_0 - F) \end{cases} \quad (3.15)$$

が成立している。従って、(1.4)、(1.5)のある条件を満たした部分集合がパレートフロンティアとなっていることが分かる。

3-5 パレートフロンティアの傾き

パレートフロンティアの概形を理解するために、パレートフロンティアの傾きを調べる。(3.13)を全微分して

$$\left\{ \theta Ra \delta F^{\delta-1} c \varepsilon^2 n^{\varepsilon-1} - v c \varepsilon (\varepsilon - 1) n^{\varepsilon-2} \right\} dn + \left\{ (1-\theta)vRa\delta F^{\delta-1} + \theta Ra \delta (\delta - 1) F^{\delta-2} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1} \right\} dF = 0 \quad (3.16)$$

$$\frac{dF}{dn} = - \frac{\theta Ra \delta F^{\delta-1} c \varepsilon^2 n^{\varepsilon-1} - v c \varepsilon (\varepsilon - 1) n^{\varepsilon-2}}{(1-\theta)vRa\delta F^{\delta-1} + \theta Ra \delta (\delta - 1) F^{\delta-2} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1}} \quad (3.17)$$

(3.17)を(1.4)、(1.5)、および(3.13)を用いて変形し

$$\begin{aligned} \frac{dF}{dn} &= - \frac{\varepsilon n^{-1} (\theta Ra \delta F^{\delta-1} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1} - v c \varepsilon n^{\varepsilon-1}) + v c \varepsilon^2 n^{\varepsilon-2} - v c \varepsilon (\varepsilon - 1) n^{\varepsilon-2}}{\delta F^{-1} \left\{ (1-\theta)vRaF^\delta + \theta Ra \delta F^{\delta-1} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1} \right\} - \theta Ra \delta^2 F^{\delta-2} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1} + \theta Ra \delta (\delta - 1) F^{\delta-2} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1}} \\ &= - \frac{-(1-\theta)vRaF^\delta \varepsilon n^{-1} + v c \varepsilon n^{\varepsilon-2}}{\delta F^{-1} v c \varepsilon n^{\varepsilon-1} - \theta Ra \delta F^{\delta-2} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1}} \end{aligned} \quad (3.18)$$

$$= - \frac{-v\varepsilon n^{-2} \left\{ (1-\theta)RaF^\delta n - cn^\varepsilon \right\}}{-\delta F^{-2} c \varepsilon n^{\varepsilon-1} (\theta Ra F^\delta n - vF)} \quad (3.19)$$

$$= - \frac{vF^2 \pi_c}{\delta c n^{\varepsilon+1} (\pi_d - vF_0)} \quad (3.20)$$

条件(1.6)、(1.7)より $\pi_c > 0$ 、 $\pi_d - vF_0 > 0$ なので、パレートフロンティアの傾きについて

$$\frac{dF}{dn} < 0 \tag{3.21}$$

すなわち、企業と途上国の利潤が現実的にあり得る範囲にあるとき、 $n-F$ 平面におけるパレートフロンティアの傾きは常に負となる。

4 ナッシュ均衡とパレートフロンティア

本章では、ナッシュ交渉解について考える前に、パレートフロンティアにおける森林保全面積、そして企業と途上国の利潤が、ナッシュ均衡に対してどのような関係にあるのかを考察する。ナッシュ交渉解はパレートフロンティア上に存在するが、本論文の目的の一つには、ナッシュ交渉解における企業と途上国の利潤が、ナッシュ均衡と比較して共に増加し、かつそのときの森林保全面積が増加していることを証明することがある。

ナッシュ交渉解が存在する場合、それはナッシュ均衡を原点とした利潤平面の第一象限にある。従って、ここでの考察の対象となるのは、ナッシュ均衡と等しい利潤を企業に与える点、およびナッシュ均衡と等しい利潤を途上国に与える点の2点によって区切られた範囲のパレートフロンティアになる。

この範囲のパレートフロンティアにおける企業と途上国の利潤、および森林保全面積が、ナッシュ均衡、すなわち交渉決裂時におけるそれぞれの利潤と森林保全面積に比べて大きいことが言えれば、ナッシュ交渉解が存在する限りにおいて、いかなる交渉の結果も交渉決裂時よりも森林保全面積が増大し、かつそれは利潤の増大ももたらすが故に極めて実現可能性が高いということが言えることになる。

4-1 ナッシュ均衡とパレートフロンティアにおける F の状態

まずナッシュ均衡とパレートフロンティアにおいて、森林保全面積がどのように変化しているかを考える。

企業に $\bar{\pi}_{NEc}$ を与えるパレート最適点を (n_{Pc}, F_{Pc}) 、途上国に $\bar{\pi}_{NEd}$ を与えるパレート最適点を (n_{Pd}, F_{Pd}) としたとき

(3.1) および (3.13) より

$$\begin{cases} (1-\theta)RaF_{Pc}^{\delta}n_{Pc} - cn_{Pc}^{\varepsilon} - \bar{\pi}_{NEc} = 0 \\ (1-\theta)vRaF_{Pc}^{\delta} + \theta Ra\delta F_{Pc}^{\delta-1}n_{Pc}c\varepsilon n_{Pc}^{\varepsilon-1} - vc\varepsilon n_{Pc}^{\varepsilon-1} = 0 \end{cases} \quad (4.1)$$

(3.5) および (3.13) より

$$\begin{cases} \theta RaF_{Pd}^{\delta}n_{Pd} + v(F_0 - F_{Pd}) - \bar{\pi}_{NEd} = 0 \\ (1-\theta)vRaF_{Pd}^{\delta} + \theta Ra\delta F_{Pd}^{\delta-1}n_{Pd}c\varepsilon n_{Pd}^{\varepsilon-1} - vc\varepsilon n_{Pd}^{\varepsilon-1} = 0 \end{cases} \quad (4.2)$$

(3.13) より

$$\begin{aligned} (1-\theta)RaF_{Pc}^{\delta} - c\epsilon n_{Pc}^{\epsilon-1} &= n_{Pc}^{-1} \left\{ (1-\theta)RaF_{Pc}^{\delta} n_{Pc} - cn_{Pc}^{\epsilon} \right\} + cn_{Pc}^{\epsilon-1} - c\epsilon n_{Pc}^{\epsilon-1} \\ &= n_{Pc}^{-1} \bar{\pi}_{NEc} - (\epsilon-1)cn_{Pc}^{\epsilon-1} \end{aligned}$$

(2.11) より $\bar{\pi}_{NEc} = (\epsilon-1)cn_{NE}^{\epsilon}$ なるので

$$\begin{aligned} &= (\epsilon-1)cn_{Pc}^{-1}n_{NE}^{\epsilon} - (\epsilon-1)cn_{Pc}^{\epsilon-1} \\ &= (\epsilon-1)cn_{Pc}^{-1}(n_{NE}^{\epsilon} - n_{Pc}^{\epsilon}) < 0 \end{aligned}$$

従って

$$n_{NE} < n_{Pc} \tag{4.3}$$

(3.12) より、企業の等利潤曲線の傾きは正なので

$$F_{NE} < F_{Pc} \tag{4.4}$$

同様にして

$$\begin{aligned} \theta Ra \delta F_{Pd}^{\delta-1} n_{Pd} - v &= \delta F_{Pd}^{-1} (\theta Ra F_{Pd}^{\delta} n_{Pd} - v F_{Pd}) - (1-\delta)v \\ &= \delta F_{Pd}^{-1} (\bar{\pi}_{NEd} - v F_o) - (1-\delta)v \end{aligned}$$

(2.12) より $\bar{\pi}_{NEd} = \left(\frac{1-\delta}{\delta} \right) v F_{NE} + v F_o$ なるので

$$\begin{aligned} &= (1-\delta)v F_{Pd}^{-1} F_{NE} - (1-\delta)v \\ &= (1-\delta)v F_{Pd}^{-1} (F_{NE} - F_{Pd}) < 0 \end{aligned}$$

従って

$$F_{NE} < F_{Pd} \tag{4.5}$$

従って、(4.4)、(4.5)および(3.21)より、パレートフロンティア上の閉区間 $[n_{Pd}, n_{Pc}]$ におけ

る任意の点 F_{Px} について

$$F_{Px} > F_{NE} \quad (4.6)$$

すなわち、パレートフロンティア上のナッシュ均衡と等しい利潤を企業に与える点と、ナッシュ均衡と等しい利潤を途上国に与える点で挟まれた領域において、森林保全面積はナッシュ均衡よりも必ず増大することが分かる。

4-2 ナッシュ均衡とパレートフロンティアにおける利潤

同様に、ナッシュ均衡とパレートフロンティアにおいて、企業と途上国の得る利潤がどのように変化しているかを考える。

企業の等利潤曲線上で、 $(1-\theta)RaF^\delta - c\epsilon n^{\epsilon-1} < 0$ を満たしつつ (n_{Pd}, F_{Pd}) から (n_{Pc}, F_{Pc}) へ至る単調減少な曲線を考えると、企業の利潤は (n_{Pc}, F_{Pc}) へ近づくにつれ常に減少する。

同様に、途上国の等利潤曲線上で、 $\theta Ra\delta F^{\delta-1}n - v < 0$ を満たしつつ (n_{Pd}, F_{Pd}) から (n_{Pc}, F_{Pc}) へ至る単調減少な曲線を考えると、途上国の利潤は (n_{Pc}, F_{Pc}) へ近づくにつれ常に増加する。

パレートフロンティア $(1-\theta)vRaF^\delta + \theta Ra\delta F^{\delta-1}nc\epsilon n^{\epsilon-1} - vc\epsilon n^{\epsilon-1}$ は、区間 $[n_{Pd}, n_{Pc}]$ において上記の条件を満たしている。そこで、パレートフロンティア上の区間 (n_{Pd}, n_{Pc}) における

任意の点 $x = (n_x, F_x)$ 、 $y = (n_y, F_y)$ における企業の利潤を $\bar{\pi}_{xc}$ 、 $\bar{\pi}_{yc}$ 、途上国の利潤を $\bar{\pi}_{xd}$ 、

$\bar{\pi}_{yd}$ とすると

$$N = \left\{ n \mid n_{Pc} < n < n_{Pd}, (1-\theta)vRaF^\delta + \theta Ra\delta F^{\delta-1}nc\epsilon n^{\epsilon-1} - vc\epsilon n^{\epsilon-1} = 0 \right\} \text{のとき}$$

$$n_x, n_y \in N, n_x < n_y \Leftrightarrow \begin{cases} \pi_{xc} > \pi_{yc} > \bar{\pi}_{NEc} \\ \pi_{yd} > \pi_{xd} > \bar{\pi}_{NEd} \end{cases} \quad (4.7)$$

すなわち、パレートフロンティア上のナッシュ均衡と等しい利潤を企業に与える点と、ナッシュ均衡と等しい利潤を途上国に与える点で挟まれた領域において、すべての点はナッシュ均衡より大きな利潤を企業と途上国の双方に与え、かつ採取数が大きいほど企業の得る利潤は大きく、途上国の得る利潤は少なくなることが分かる。

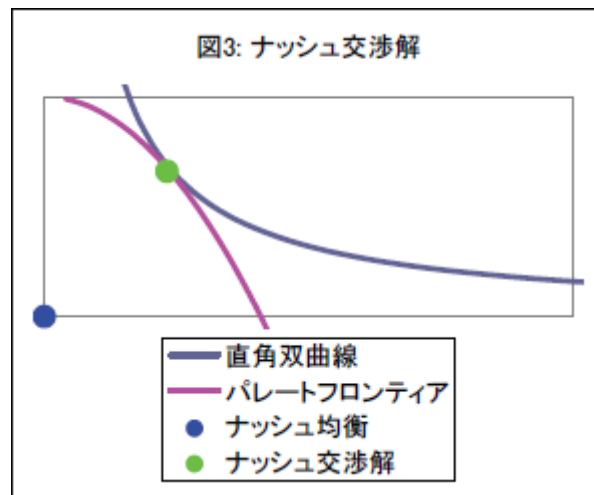
5 ナッシュ交渉解

ナッシュ均衡を原点とする利潤平面において、パレートフロンティアが第一象限に存在し、その傾きが負で、かつ原点に対して凹であるとき、ナッシュ交渉解が存在する¹⁵。

この章では、ある条件下において本モデルが必ずナッシュ交渉解を持つことを証明する。ナッシュ交渉解が存在するのであれば、それは前章で述べたように、ナッシュ均衡よりも森林保全面積が増大することを意味する。ナッシュ交渉解そのものは交渉の方法については何も言及できないが、しかし交渉によって企業と途上国の双方がより大きな利潤を得られることが示せれば、それは現状改善に対する大きな指針となるだろう。

5-1 パレートフロンティアの傾き

ナッシュ交渉解を求めるために、まず利潤平面上でのパレートフロンティアの傾きを求める。前述の通り、パレートフロンティアの傾きが負で、かつそれが原点に対して凹となっているとき、ナッシュ均衡を原点とした第一象限上の直角双曲線との交点がナッシュ交渉解となる。



(3.17)より

¹⁵ 中山幹夫(2006)『社会的ゲームの理論入門』, p46-51, 勁草書房

$$dF = -\frac{\theta Ra \delta F^{\delta-1} c \varepsilon^2 n^{\varepsilon-1} - v c \varepsilon (\varepsilon - 1) n^{\varepsilon-2}}{(1-\theta) \nu Ra \delta F^{\delta-1} + \theta Ra \delta (\delta - 1) F^{\delta-2} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1}} dn \quad (5.1)$$

また (1.4)、(1.5) を全微分して

$$\{(1-\theta) Ra F^\delta - c \varepsilon n^{\varepsilon-1}\} dn + (1-\theta) Ra \delta F^{\delta-1} n dF - d\pi_c = 0 \quad (5.2)$$

$$\theta Ra F^\delta dn + (\theta Ra \delta F^{\delta-1} n - \nu) dF - d\pi_d = 0 \quad (5.3)$$

(5.1)、(5.2) および (5.3) より

$$\begin{aligned} \frac{d\pi_d}{d\pi_c} &= \frac{\theta Ra F^\delta dn + (\theta Ra \delta F^{\delta-1} n - \nu) dF}{\{(1-\theta) Ra F^\delta - c \varepsilon n^{\varepsilon-1}\} dn + (1-\theta) Ra \delta F^{\delta-1} n dF} \\ &= \frac{\theta Ra F^\delta dn + (\theta Ra \delta F^{\delta-1} n - \nu) \left\{ -\frac{\theta Ra \delta F^{\delta-1} c \varepsilon^2 n^{\varepsilon-1} - v c \varepsilon (\varepsilon - 1) n^{\varepsilon-2}}{(1-\theta) \nu Ra \delta F^{\delta-1} + \theta Ra \delta (\delta - 1) F^{\delta-2} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1}} dn \right\}}{\{(1-\theta) Ra F^\delta - c \varepsilon n^{\varepsilon-1}\} dn + (1-\theta) Ra \delta F^{\delta-1} n \left\{ -\frac{\theta Ra \delta F^{\delta-1} c \varepsilon^2 n^{\varepsilon-1} - v c \varepsilon (\varepsilon - 1) n^{\varepsilon-2}}{(1-\theta) \nu Ra \delta F^{\delta-1} + \theta Ra \delta (\delta - 1) F^{\delta-2} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1}} dn \right\}} \\ &= \frac{\theta Ra F^\delta \left\{ (1-\theta) \nu Ra \delta F^{\delta-1} + \theta Ra \delta (\delta - 1) F^{\delta-2} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1} \right\} - (\theta Ra \delta F^{\delta-1} n - \nu) \left\{ \theta Ra \delta F^{\delta-1} c \varepsilon^2 n^{\varepsilon-1} - v c \varepsilon (\varepsilon - 1) n^{\varepsilon-2} \right\}}{\{(1-\theta) Ra F^\delta - c \varepsilon n^{\varepsilon-1}\} \left\{ (1-\theta) \nu Ra \delta F^{\delta-1} + \theta Ra \delta (\delta - 1) F^{\delta-2} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1} \right\} - (1-\theta) Ra \delta F^{\delta-1} n \left\{ \theta Ra \delta F^{\delta-1} c \varepsilon^2 n^{\varepsilon-1} - v c \varepsilon (\varepsilon - 1) n^{\varepsilon-2} \right\}} \\ &= \frac{\theta Ra F^\delta \left\{ (1-\theta) \nu Ra \delta F^{\delta-1} + \theta Ra \delta (\delta - 1) F^{\delta-2} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1} \right\} + \frac{(1-\theta) \nu Ra F^\delta}{c \varepsilon n^{\varepsilon-1}} \left\{ \theta Ra \delta F^{\delta-1} c \varepsilon^2 n^{\varepsilon-1} - v c \varepsilon (\varepsilon - 1) n^{\varepsilon-2} \right\}}{-\frac{\theta Ra \delta F^{\delta-1} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1}}{\nu} \left\{ (1-\theta) \nu Ra \delta F^{\delta-1} + \theta Ra \delta (\delta - 1) F^{\delta-2} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1} \right\} - (1-\theta) Ra \delta F^{\delta-1} n \left\{ \theta Ra \delta F^{\delta-1} c \varepsilon^2 n^{\varepsilon-1} - v c \varepsilon (\varepsilon - 1) n^{\varepsilon-2} \right\}} \\ &= \frac{\theta v c \varepsilon n^{\varepsilon-1} \left\{ (1-\theta) \nu Ra \delta F^{\delta-1} + \theta Ra \delta (\delta - 1) F^{\delta-2} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1} \right\} + (1-\theta) \nu^2 \left\{ \theta Ra \delta F^{\delta-1} c \varepsilon^2 n^{\varepsilon-1} - v c \varepsilon (\varepsilon - 1) n^{\varepsilon-2} \right\}}{-\theta \delta F^{-1} n (c \varepsilon n^{\varepsilon-1})^2 \left\{ (1-\theta) \nu Ra \delta F^{\delta-1} + \theta Ra \delta (\delta - 1) F^{\delta-2} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1} \right\} - (1-\theta) \nu \delta F^{-1} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1} \left\{ \theta Ra \delta F^{\delta-1} c \varepsilon^2 n^{\varepsilon-1} - v c \varepsilon (\varepsilon - 1) n^{\varepsilon-2} \right\}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\theta(1-\theta)v^2 Ra \delta F^{\delta-1} (\varepsilon+1) c \varepsilon n^{\varepsilon-1} + \theta^2 v Ra \delta (\delta-1) F^{\delta-2} n (c \varepsilon n^{\varepsilon-1})^2 - (1-\theta)v^3 n^{-1} (\varepsilon-1) c \varepsilon n^{\varepsilon-1}}{-\theta(1-\theta)v Ra \delta^2 F^{\delta-2} n (\varepsilon+1) (c \varepsilon n^{\varepsilon-1})^2 - \theta^2 Ra \delta^2 (\delta-1) F^{\delta-3} n^2 (c \varepsilon n^{\varepsilon-1})^3} \\
&\quad + (1-\theta)v^2 \delta F^{-1} (\varepsilon-1) (c \varepsilon n^{\varepsilon-1})^2 \\
&= \frac{\theta(1-\theta)v^2 Ra \delta F^{\delta-1} (\varepsilon+1) c \varepsilon n^{\varepsilon-1} + \theta^2 v Ra \delta (\delta-1) F^{\delta-2} n (c \varepsilon n^{\varepsilon-1})^2 - (1-\theta)v^3 n^{-1} (\varepsilon-1) c \varepsilon n^{\varepsilon-1}}{-\frac{\delta c \varepsilon n^\varepsilon}{v F} \left\{ \theta(1-\theta)v^2 Ra \delta F^{\delta-1} (\varepsilon+1) c \varepsilon n^{\varepsilon-1} + \theta^2 v Ra \delta (\delta-1) F^{\delta-2} n (c \varepsilon n^{\varepsilon-1})^2 - (1-\theta)v^3 n^{-1} (\varepsilon-1) c \varepsilon n^{\varepsilon-1} \right\}}
\end{aligned}$$

従って

$$\frac{d\pi_d}{d\pi_c} = -\frac{vF}{\delta \varepsilon n^\varepsilon} < 0 \quad (5.4)$$

以上より、利潤平面上でパレートフロンティアの傾きは負となっている。

5-2 2階の微分

次に、二つ目の条件であるパレートフロンティアが原点に対して凹であることを証明する。

(3.18)より

$$\begin{aligned}
\frac{dF}{dn} &= -\frac{-(1-\theta)v Ra F^\delta \varepsilon n^{-1} + v c \varepsilon n^{\varepsilon-2}}{\delta F^{-1} v c \varepsilon n^{\varepsilon-1} - \theta Ra \delta F^{\delta-2} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1}} \\
&= \frac{-\varepsilon n^{-1} \left\{ (1-\theta)v Ra F^\delta - v c \varepsilon n^{\varepsilon-1} \right\} - v c \varepsilon^2 n^{\varepsilon-2} + v c \varepsilon n^{\varepsilon-2}}{\delta F^{-2} c \varepsilon n^{\varepsilon-1} (\theta Ra F^\delta n - v F)} \\
&= \frac{\theta Ra \delta F^{\delta-1} n c \varepsilon^2 n^{\varepsilon-2} - v c \varepsilon^2 n^{\varepsilon-2} + v c \varepsilon n^{\varepsilon-2}}{\delta F^{-2} c \varepsilon n^{\varepsilon-1} (\theta Ra F^\delta n - v F)} \\
&= \frac{\theta Ra \delta F^{\delta-1} n \varepsilon n^{-1} - (\varepsilon-1) v n^{-1}}{\delta F^{-1} (\theta Ra F^{\delta-1} n - v)} \\
&= \frac{F \left\{ \theta Ra \delta \varepsilon F^{\delta-1} n - (\varepsilon-1) v \right\}}{\delta n (\theta Ra F^{\delta-1} n - v)}
\end{aligned}$$

従って

$$dF = \frac{F \left\{ \theta R a \delta \varepsilon F^{\delta-1} n - (\varepsilon - 1) v \right\}}{\delta n (\theta R a F^{\delta-1} n - v)} dn \quad (5.5)$$

(1.4)、(1.5)より

$$\theta \pi_c + \theta c n^\varepsilon - (1 - \theta) \pi_d + (1 - \theta) v (F_0 - F) = 0 \quad (5.6)$$

n 、 F 、 π_c 、 π_d で全微分して

$$\begin{aligned} & \theta d\pi_c + \theta c \varepsilon n^{\varepsilon-1} dn - (1 - \theta) d\pi_d - (1 - \theta) v dF \\ &= \frac{(1 - \theta) v F + \theta \delta \varepsilon c n^\varepsilon}{\delta \varepsilon c n^\varepsilon} d\pi_c + \theta c \varepsilon n^{\varepsilon-1} dn - (1 - \theta) v dF = 0 \end{aligned}$$

従って

$$d\pi_c = - \frac{\delta \varepsilon c n^\varepsilon}{(1 - \theta) v F + \theta \delta \varepsilon c n^\varepsilon} \left\{ \theta c \varepsilon n^{\varepsilon-1} dn - (1 - \theta) v dF \right\} \quad (5.7)$$

(3.20)、(5.7)より

$$\begin{aligned} d\pi_c &= - \frac{\delta \varepsilon c n^\varepsilon}{(1 - \theta) v F + \theta \delta \varepsilon c n^\varepsilon} \left[\theta c \varepsilon n^{\varepsilon-1} dn - (1 - \theta) v \left\{ - \frac{v F^2 \pi_c}{\delta c n^{\varepsilon+1} (\pi_d - v F_0)} dn \right\} \right] \\ &= - \frac{\delta \varepsilon c n^\varepsilon}{(1 - \theta) v F + \theta \delta \varepsilon c n^\varepsilon} \left\{ \frac{\theta \delta \varepsilon (c n^\varepsilon)^2 (\pi_d - v F_0) + (1 - \theta) (v F)^2 \pi_c}{\delta c n^{\varepsilon+1} (\pi_d - v F_0)} \right\} dn \\ &= - \frac{\varepsilon \left\{ \theta \delta \varepsilon (c n^\varepsilon)^2 (\pi_d - v F_0) + (1 - \theta) (v F)^2 \pi_c \right\}}{n (\pi_d - v F_0) \left\{ \theta \delta \varepsilon c n^\varepsilon + (1 - \theta) v F \right\}} dn \end{aligned} \quad (5.8)$$

(5.4)、(5.5)、(5.8)より

$$\frac{d^2 \pi_d}{d\pi_c^2} = \frac{d \left(\frac{d\pi_d}{d\pi_c} \right)}{d\pi_c}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{d\left(-\frac{vF}{\delta \varepsilon c n^\varepsilon}\right)}{dF} \frac{dF}{d\pi_c} + \frac{d\left(-\frac{vF}{\delta \varepsilon c n^\varepsilon}\right)}{dn} \frac{dn}{d\pi_c} \\
&= -\frac{v}{\delta \varepsilon c n^\varepsilon} \frac{dF}{d\pi_c} + \frac{vF}{\delta c n^{\varepsilon+1}} \frac{dn}{d\pi_c} \\
&= \left[-\frac{v}{\delta \varepsilon c n^\varepsilon} \frac{F \left\{ \theta R a \delta \varepsilon F^{\delta-1} n - (\varepsilon-1)v \right\}}{\delta n (\theta R a F^{\delta-1} n - v)} + \frac{vF}{\delta c n^{\varepsilon+1}} \right] \frac{dn}{d\pi_c} \\
&= -\frac{vF}{\delta c n^{\varepsilon+1}} \left[\frac{\left\{ \theta R a \delta \varepsilon F^{\delta-1} n - (\varepsilon-1)v \right\} - \delta \varepsilon (\theta R a F^{\delta-1} n - v)}{\delta \varepsilon (\theta R a F^{\delta-1} n - v)} \right] \frac{dn}{d\pi_c} \\
&= -\frac{v^2 F}{\delta^2 \varepsilon c n^{\varepsilon+1}} \frac{(\delta \varepsilon - \varepsilon + 1)}{(\theta R a F^{\delta-1} n - v)} \frac{dn}{d\pi_c} \\
&= \frac{v^2 F}{\delta^2 \varepsilon c n^{\varepsilon+1}} \frac{(\delta \varepsilon - \varepsilon + 1)}{(\theta R a F^{\delta-1} n - v)} \frac{n(\pi_d - vF_0) \left\{ \theta \delta \varepsilon c n^\varepsilon + (1-\theta)vF \right\}}{\varepsilon \left\{ \theta \delta \varepsilon (c n^\varepsilon)^2 (\pi_d - vF_0) + (1-\theta)(vF)^2 \pi_c \right\}} \\
&= \frac{(\delta \varepsilon - \varepsilon + 1)(vF)^2 \left\{ \theta \delta \varepsilon c n^\varepsilon + (1-\theta)vF \right\}}{(\delta \varepsilon)^2 c n^\varepsilon \left\{ \theta \delta \varepsilon (c n^\varepsilon)^2 (\pi_d - vF_0) + (1-\theta)(vF)^2 \pi_c \right\}} \tag{5.9}
\end{aligned}$$

(3.13) より

$$\begin{aligned}
&(1-\theta)vRaF^\delta + \theta Ra \delta F^{\delta-1} n c \varepsilon n^{\varepsilon-1} - v c \varepsilon n^{\varepsilon-1} \\
&= \frac{v}{n} \left\{ (1-\theta)RaF^\delta n - c n^\varepsilon \right\} + v c n^{\varepsilon-1} + \delta F^{-1} c \varepsilon n^{\varepsilon-1} \left\{ \theta Ra F^\delta n - vF \right\} + v \delta c \varepsilon n^{\varepsilon-1} - v c \varepsilon n^{\varepsilon-1} \\
&= \frac{v}{n} \pi_c + \delta F^{-1} c \varepsilon n^{\varepsilon-1} (\pi_d - vF_0) + v c n^{\varepsilon-1} (\delta \varepsilon - \varepsilon + 1) = 0
\end{aligned}$$

従って

$$vF \pi_c + \delta \varepsilon c n^\varepsilon (\pi_d - vF_0) = -c n^\varepsilon vF (\delta \varepsilon - \varepsilon + 1) \tag{5.10}$$

(1.6)、(1.7)より、 $\pi_c > 0$ 、 $\pi_d - vF_0 > 0$ なるので

$$\delta \varepsilon - \varepsilon + 1 < 0 \tag{5.11}$$

従って、(5.9)、(5.11)より

$$\frac{d^2 \pi_d}{d\pi_c^2} = \frac{(\delta\varepsilon - \varepsilon + 1)(vF)^2 \{ \theta\delta\varepsilon cn^\varepsilon + (1-\theta)vF \}}{(\delta\varepsilon)^2 cn^\varepsilon \{ \theta\delta\varepsilon (cn^\varepsilon)^2 (\pi_d - vF_0) + (1-\theta)(vF)^2 \pi_c \}} < 0 \quad (5.12)$$

以上より、利潤平面上でパレートフロンティアが原点に対して凹であり、すなわち、本モデルにおいて、パレートフロンティアはナッシュ交渉解を持つことが証明された。

ここまですをまとめると

i) (3.13)より、 $(1-\theta)RaF^\delta - c\varepsilon n^{\varepsilon-1} < 0$ かつ $\theta Ra\delta F^{\delta-1}n - v < 0$ を満たす範囲でパレートフロンティア $(1-\theta)vRaF^\delta + \theta Ra\delta F^{\delta-1}nc\varepsilon n^{\varepsilon-1} - v c\varepsilon n^{\varepsilon-1} = 0$ が存在する。

ii) (3.21)より、 $\pi_c > 0$ 、 $\pi_d - vF_0 > 0$ の条件下においてパレートフロンティアの傾きは負となる。

iii) (2.11)、(2.12)より、パレートフロンティアは区間 $[n_{Pd}, n_{Pc}]$ において ii) を満たしている。

iv) iii) の範囲のパレートフロンティアをナッシュ均衡を原点とする ${}_{NE}\pi_c - {}_{NE}\pi_d$ 平面に写したとき、(4.7)よりその曲線は第一象限に存在し、かつ、(5.4)、(5.12)より、それは原点に対して凹になる。

v) 従ってナッシュ交渉解が存在し、さらに(4.6)より、それはナッシュ均衡におけるよりもより広い面積の森林の存在を保証する。

これは、本モデルにおいて、企業と途上国が非協力的であるよりも協力的であった方が、より大きな利潤を互いに得ることができ、しかもそれはより広い森林保全面積が得られることを意味し、かつそのような交渉の結果が存在することを保証している。

次章から、本モデルに対して具体的なパラメータ値を設定し、それがどのような結果をもたらすのかを検証する。

6 数値例

ここまでで、本論文において構築したモデルの世界においては、製薬企業と途上国が非協力的な状況より、協力し合った方が、互いにより大きな利潤を得られ、かつそのときに森林保全面積も増大することが分かった。

この章では、パラメータに具体的な数値を設定し、企業と途上国の選択が、それぞれの利潤と森林保全面積にどのような影響を与えるのかを具体的に検証してみる。それぞれのパラメータは、先行研究においては下表のように考えられている。各々の数値にはある程度のばらつきがあり、また、特に医薬品の開発などに関わるデータは、契約上の機密事項となることが多く、推定値も含まれている。しかし、大まかな傾向については、どの研究においてもほぼ一致していると言って良いだろう。

森林の初期面積については、ブラジルの総森林面積が 2284000km²、インドネシアの総森林面積が 530000km²となる¹⁶ ことなどから考え、本数値例では 100000000 ヘクタール、すなわち 1000000km²とする。この初期値については、最終章においても一度検討する。

残りのパラメータについては参考となる資料がないため、実際に計算した上で適切な値を設定した。

パラメータ	単位	林 ¹⁷	Pearce and Moran ¹⁸	Simpson ¹⁹	宮崎 ²⁰	安藤 ²¹	小田切 ²²
θ	%	0.5~2.0	0.1~1.0				
R	万円 ²³			5130000	1780000	6800000	
aF^δ	%	0.1~0.01	0.1~0.01		0.001 ~ 0.0001		0.00002
c	万円	0.228 ~ 1.596					

表 1 先行研究によるパラメータの設定

¹⁶ 財団法人 地球・人間環境フォーラム(2005)『環境要覧 2005/2006』, p144, 古今書院

¹⁷ 林, 前掲書, p87-89

¹⁸ 宮崎, 前掲書, p291

¹⁹ 同上書, p292

²⁰ 同上書, p293-304

²¹ 安藤勝彦「生物資源の利用と生物多様性条約—企業の立場から」(財)バイオインダストリー協会監修, 渡辺幹彦・二村聡編(2002)『生物資源アクセス バイオインダストリーとアジア』, p31, 東洋経済新報社: ここでは表 2-2 の平均値を用いている。

²² 小田切宏之(2006)『バイオテクノロジーの経済学「越境するバイオ」のための制度と戦略』, p222-225, 東洋経済新報社

²³ ここでの金額は、もとの単位がUS\$の場合、1US\$=114円換算で変換している。

パラメータ	θ	R	a	δ	ε	c	v	F_0
単位	%	万円				万円	万円	ha
範囲	1.0~21.0	2930000 ~ 3030000	0.000001	0.04 ~ 0.05	1.10 ~ 1.11	1.0~1.1	1.0~2.0	10000000 0

表 2 本論文におけるパラメータの設定

表 2 は本論文におけるパラメータの設定範囲となる²⁴。しかしいずれにせよ、これらの数値はあくまである程度現実世界の状況を反映させるためのものに過ぎず、企業と途上国の選択が全体にどのような影響を与えるかを概観するためのものであり、値に厳密性を求めるものではない。また、そのような前提があるにもかかわらず、数値例を通していくつかの興味深い結果を観察することができる。

次項以下、各パラメータをひとつずつ変化させた場合の利潤、および森林面積の変化を、表とグラフによって示し、次章においてこれらの結果の分析を行う。

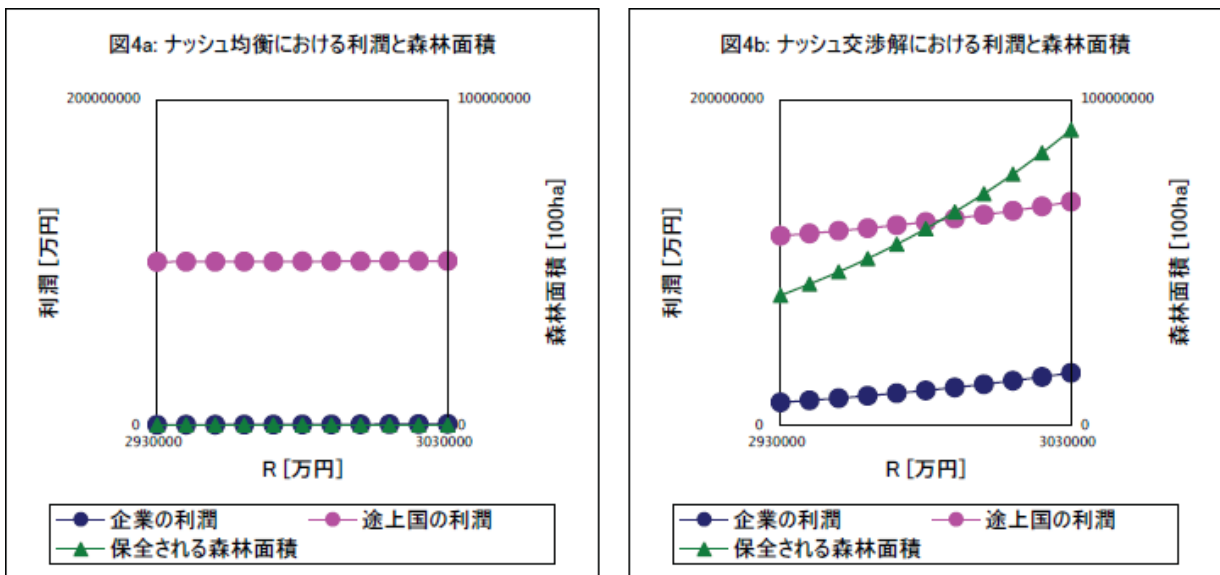
²⁴ Appendix II に、表 2 中のある値における企業と途上国の反応曲線、等利潤曲線、ナッシュ均衡、およびナッシュ交渉解をグラフ化したものを挙げる。

7 分析

以下のすべての例において、ナッシュ均衡の場合、パラメータの変化は企業と途上国の利潤、および森林保全面積に対してほとんど影響を及ぼさない。これは非協力ゲームにおいて、基本的には途上国は森林をほとんど消費してしまい、企業は少ない森林面積に対して極わずかの採取数しか投資しないことが、互いに最適な反応となるためである。

一方、ナッシュ交渉解においては、パラメータの変化が、企業と途上国の利潤、そして森林保全面積に大きな影響を与える。企業は採取数（すなわち投資額）を増やし、途上国は森林を保全して多様な生物相を残す。この相互作用により、各々の利潤を大幅に増やすことができる。

i) R による影響（図 4a、4b、および Appendix I 表 3）



企業からみると、 R 、すなわちひとつの商品当たりの期待売り上げの増加により、1 サンプル当たりの限界コスト曲線 $MC = c\theta n^{\varepsilon-1}$ は変化しないが、利益配分後の限界期待売り上げ曲線 $MR_c = (1-\theta)RaF^\delta$ は右上にシフトする（すなわち、追加的な 1 サンプル当たりの限界期待売り上げは増加する）。企業の利潤は限界コストと利益配分後の期待限界売り上げの均衡点で最大となるので、 R の増加は採取数の増加、および企業の総利潤の増加をもたらす。

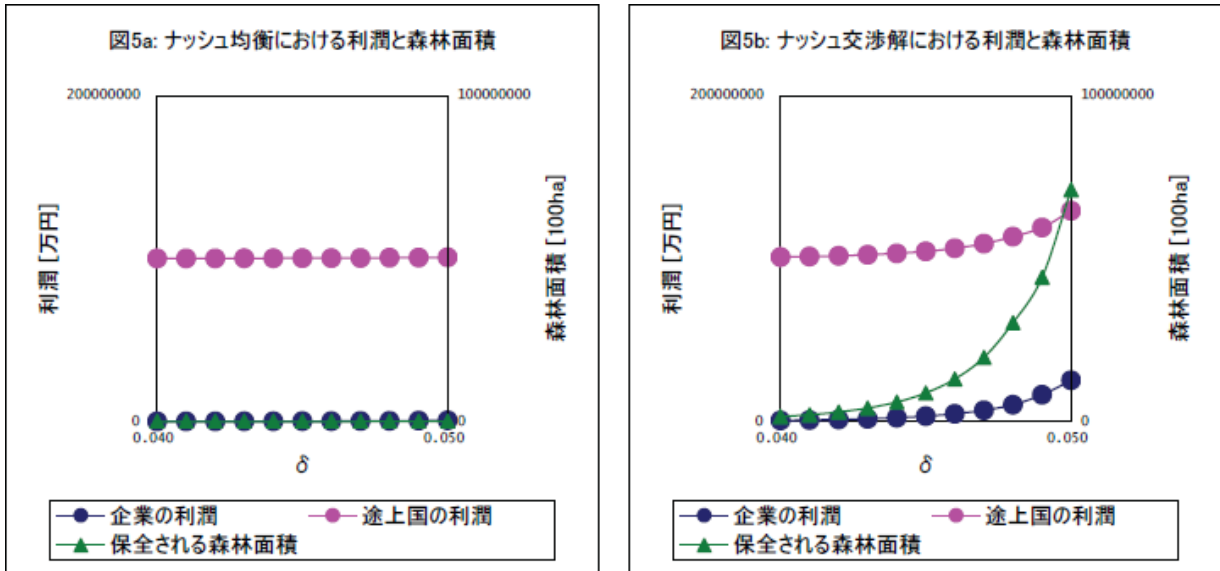
一方途上国からみると、途上国の利潤は単位森林面積当たりの限界森林消費収益曲線 $MV = v$ と利益配分後の限界期待売り上げ曲線 $MR_d = \theta Ra \delta F^{\delta-1} n$ の均衡点で最大化する。

R の増加は限界森林消費収益曲線には影響を与えないが、限界期待売り上げ曲線を右上にシフトさせる（すなわち、追加的な単位森林面積当たりの限界期待売り上げは増加する）ので、森林保全面積の増加、および途上国の総利潤の増加をもたらす。従って、 R の増加は企業と途上国の利潤、および採取数と森林保全面積を共に増大させる。 MR_c における F 、および MR_d における n はそれぞれ外生的に与えられ、それぞれの増加が、さらに相手の利潤の増加をもたらす。

まとめると、期待売り上げの増加は企業の投資額を増大させ、それによる利潤の増加は途上国への利益配分も増大させる。それは途上国による森林保全面積の増加をもたらし、更なる投資額の増大につながる。表 3 における数値例を見ると、ナッシュ交渉解では、商品化に成功したひとつ当たりの商品の期待売り上げが十億円増加することにより、企業と途上国の利潤は共に 2 千億円近く増加する。すなわち、期待売り上げの高々 3.3% の増大が、途上国においては 1.18 倍、企業においては 2.27 倍の利潤の増加をもたらす。また、森林保全面積は 2.27 倍となる。これは企業の利潤の増加に等しい。

このように、企業と途上国が協力する場合、商品の売り上げが森林保全面積に大きな影響を与えることが分かる。そうであるのなら、例えばある医薬品が途上国との公正な契約に基づいて研究開発されたものであることを保障するようなある種の認証制度を考えた場合、我々一般市民の商品選択、すなわちそれが森林保全に結びつくのであれば多少価格が高くてもそれを選ぶという行為が、森林保全に対して大きな力を持ち得ることをこの結果は示している。また、それによって企業と途上国の利潤も増加するので、これら二者もこのようなシステムへの参加のインセンティブを持つことになる。

ii) a および δ による影響 (図 5a、5b、および Appendix I 表 4)



a は本来、あるひとつのサンプルが商品化に成功するかどうかを表す確率の係数だが、ここまで述べてきたすべての式において、必ず R と組の形で現れる。従って、 a の増減による企業と途上国の利潤、および森林保全面積に与える影響は R と同様であるので、数値例では特に扱っていない。

企業からみると、 δ の増加は基本的に R と同様に働く。すなわち、1 サンプル当たりの限界コスト曲線 $MC = c\epsilon n^{\epsilon-1}$ は変化しないが、利益配分後の限界期待売り上げ曲線 $MR_c = (1-\theta)RaF^\delta$ は右上にシフトする (すなわち、追加的な 1 サンプル当たりの限界期待売り上げは増加する)。企業の利潤は限界コストと利益配分後の限界期待売り上げの均衡点で最大となるので、 δ の増加は採取数の増加、および企業の総利潤の増加をもたらす。

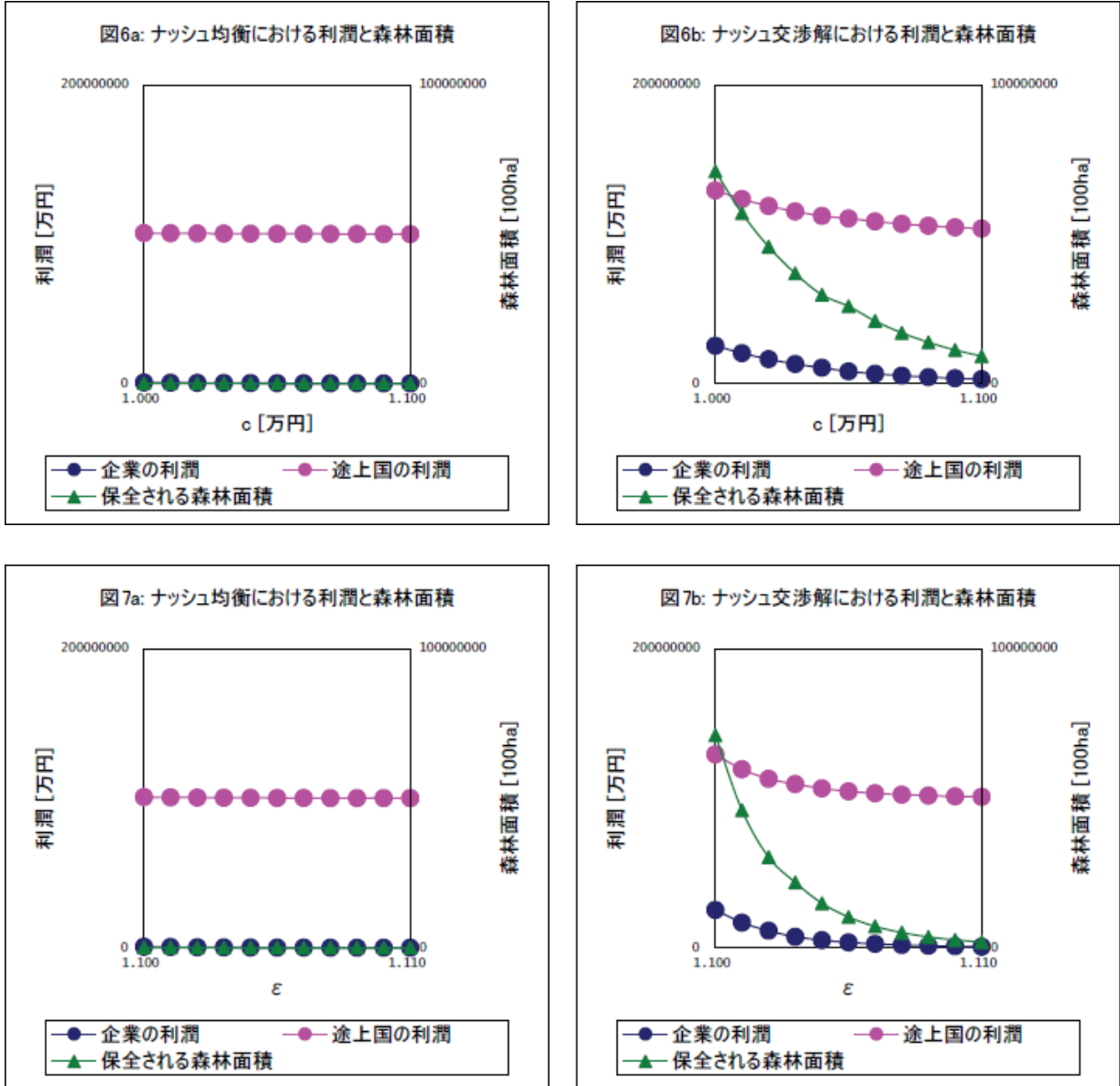
一方途上国からみると、途上国の利潤は単位森林面積当たりの限界森林消費収益曲線 $MV = v$ と利益配分後の限界期待売り上げ曲線 $MR_d = \theta Ra\delta F^{\delta-1}n$ の均衡点で最大化する。

δ の増加は限界森林消費収益曲線には影響を与えないが、限界期待売り上げ曲線を右上にシフトさせる (すなわち、追加的な単位森林面積当たりの限界期待売り上げは増加する) ので、森林保全面積の増加、および途上国の総利潤の増加をもたらす。従って、 δ の増加は企業と途上国の総利潤、および採取数 n と森林保全面積 F を共に増加させる。 MR_c にお

ける F 、および MR_d における n はそれぞれ外生的に与えられ、それぞれの増加が、さらに相手の利潤の増加をもたらす。

a および δ は、共に森林面積が追加的に 1 単位増加した場合に、1 サンプル当たりの商品化成功率がどれだけ変化するかを表している。これは、ひとつには森林の持つ多様性度によって決まるが、同時に、有用な生物資源をどれだけ効率的に発見できるかによっても決まる。このことは『遺伝資源へのアクセスとその利用から生じる利益の公正・衡平な配分に関するボン・ガイドライン』で述べられている「先住民・地域社会の伝統的知識、工夫および慣行」に対応する。実際、前述のニチニチソウの例などに見られる通り、先住民の伝統的知識が生物探査の効率化、すなわちある 1 サンプルの商品化成功率を高めることは明らかである。ボン・ガイドライン II.C では生物資源の提供者に対する責任として伝統的知識の提供を行うことを要求しているが、これによって途上国側の利潤が増加することを考えれば、伝統的知識の提供は途上国側にとっても有意義であることが分かる。

iii) ε および c による影響 (図 6a、6b、7a、7b、および Appendix I 表 5、6)



ε および c が増加すれば 1 サンプル当たりのコストは増大する。これらのパラメータの増加は、 δ の増加とまったく逆の効果を、企業と途上国の利潤、および森林保全面積に与える。すなわち、企業からみると、 ε および c の増加により、1 サンプル当たりの限界コスト曲線 $MC = c\varepsilon n^{\varepsilon-1}$ は左上にシフトする (すなわち、追加的な 1 サンプル当たりの限界コストは増加する) が、利益配分後の限界期待売り上げ曲線 $MR_c = (1-\theta)RaF^\delta$ は変化しない。

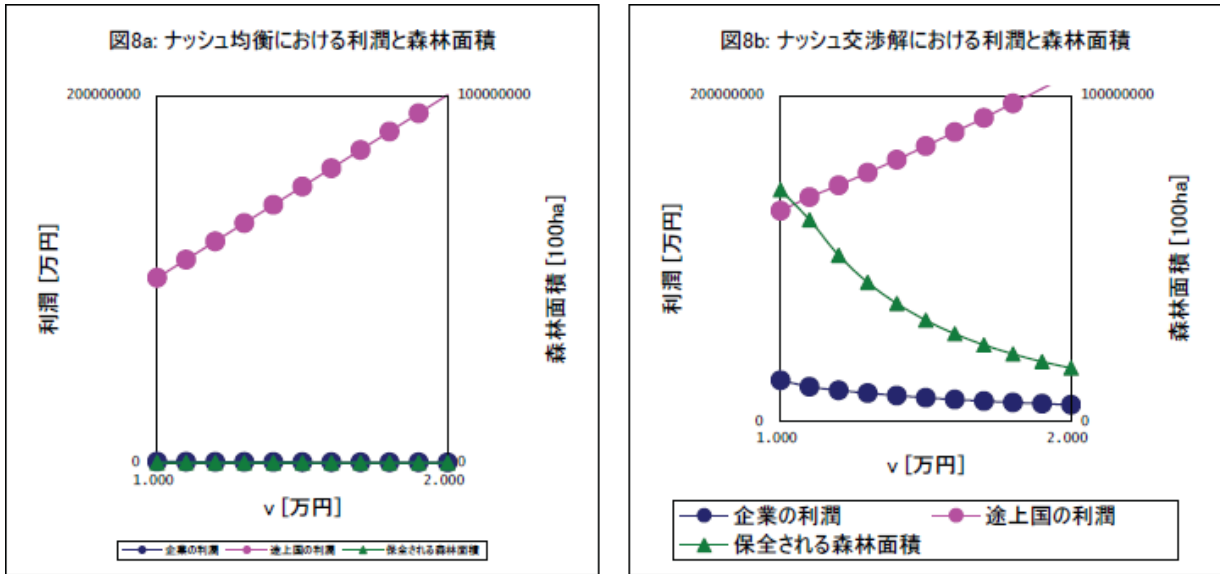
企業の利潤は限界コストと利益配分後の限界期待売り上げの均衡点で最大となるので、 ε および c の増加は採取数の減少（すなわち投資額の減少）、および企業の総利潤の減少をもたらす。

一方途上国からみると、途上国の利潤は単位森林面積当たりの限界森林消費収益曲線 $MV = v$ と利益配分後の限界期待売り上げ曲線 $MR_d = \theta Ra \delta F^{\delta-1} n$ の均衡点で最大化するので、 ε および c の変化は直接的には関わらない。しかし MR_d における n は外生的に与えられるので、企業による採取数の減少は MR_d を左下にシフトさせる（すなわち、追加的な単位森林面積当たりの限界期待売り上げは減少する）。結果的に企業と途上国の利潤、および森林保全面積はすべて減少することになる。

ε および c は、共に採取数が追加的に 1 単位増加した場合に、コストがどれだけ変化するかを表している。このコストには、スクリーニングにかかるコスト、および生物探査にかかるコストの双方が含まれる。生物探査にかかるコストは、森林の持つ多様性度によって決まる。それは、生物種が豊富な森林であれば、未知の生物資源を新たにひとつ採取するのがより容易になるためである。

ε および c については、コストの低減が企業の利潤を増大させ、それが途上国の利潤に反映されるという意味において、極単純な結果を示しているに過ぎない。しかし例えばスクリーニングに必要なコストは、例えばハイスループットスクリーニング (**high throughput screening** : HTS) 等の新技術の開発などにより、企業単独による努力によって削減可能であるため、利潤増加のための現実的な手段であるとは言えるだろう。

iv) v による影響（図 8a、8b、および Appendix I 表 7）



ナッシュ均衡において、 v の増加は他のパラメータと異なり、途上国が得る森林消費収益に直接かかるため、途上国の利潤は v に比例して増加する。

ナッシュ交渉解において、企業からみると、 v の増加は限界コスト曲線 $MC = c\epsilon n^{\epsilon-1}$ および利益配分後の限界期待売り上げ曲線 $MR_c = (1-\theta)RaF^\delta$ に影響を与えない。

一方途上国からみると、途上国の利潤は単位森林面積当たりの限界森林消費収益曲線 $MV = v$ と利益配分後の限界期待売り上げ曲線 $MR_d = \theta Ra\delta F^{\delta-1}n$ の均衡点で最大化する。

v の増加は限界森林消費収益曲線を上にシフトさせる（すなわち、追加的な単位森林面積当たりの限界森林消費収益が増加する）が、利益配分後の限界期待売り上げ曲線

$MR_d = \theta Ra\delta F^{\delta-1}n$ には影響を与えない。このとき途上国の利潤は増加するが、森林保全面積は減少する。企業から見ると、 MR_c において F は外生的に与えられるので、 F の減少は

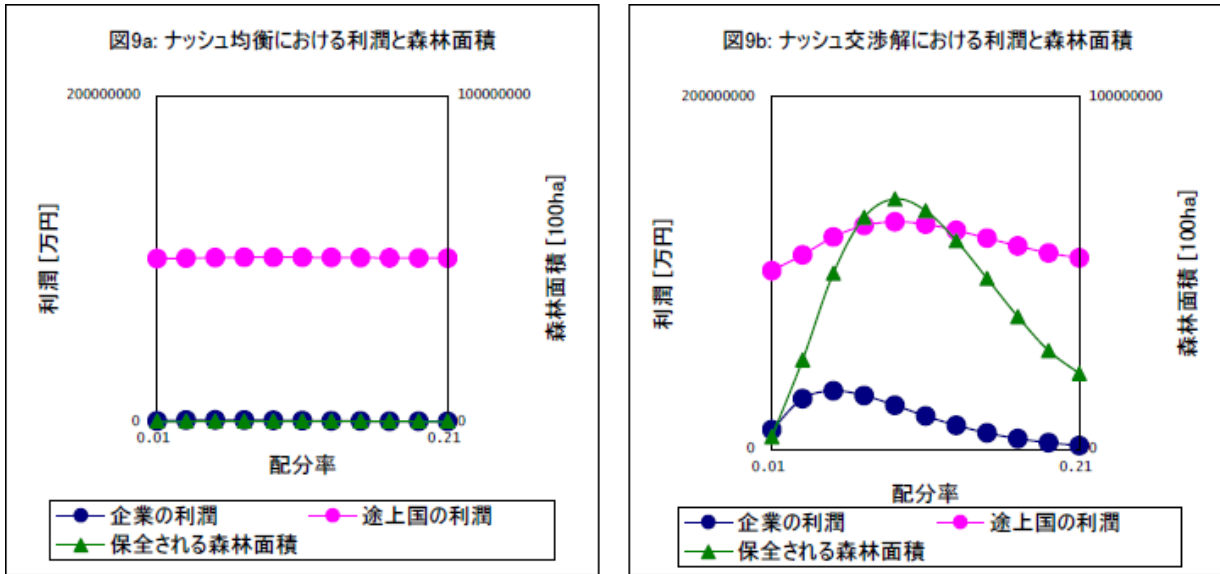
MR_c を左下にシフトさせる（すなわち、追加的な1サンプル当たりの限界期待売り上げは減少する）。そのため企業の利潤と採取数 n は減少する。

このような相互作用により、結果的に v の増加は企業の利潤および森林保全面積を減少させ、途上国の利潤を増加させる。まとめると、森林を消費することによって得られる金

銭が増えれば、途上国は企業のために森林を保全するよりもただちに消費することを選択する。森林が減少するので、企業の投資も減少する。もし v が十分に高いとすれば、森林は完全に消費され尽くすことになる。

従って、森林保全のためには、森林から得られる生物資源の価値を高めるだけでなく、森林を消費することの金銭的な価値を下げることも有効であることが分かる。多くの途上国において、家畜の糞を利用した竈の改良指導などが NGO によってなされているが、これは薪炭財としての森林の価値を下げることにつながるので、確かに森林保全の一手段になっていると言える。また商業伐採においては、持続可能な利用を保障する FSC 認証制度などもこれに相当すると考えられる。しかし FSC 認証制度が有効に機能するためには、結局のところ R におけるのと同様に、消費者の選択が重要になってくる。もし消費者が乱伐された木材ではなく持続可能な利用に基づいた木材を選択するのであれば、それは v の増加による森林の消費を抑制することにつながる。しかしこれは R の場合とは異なり、直接的に途上国の利潤を増加させるわけではない（長期的にはそうでないとしても）ため、このようなシステムの構築は、恐らく先進国主導で進める必要があるだろう。

v) θ による影響 (図 9a、9b、および Appendix I 表 8)



直感的には、自分の配分率を高くすればするほど自分の獲得する利潤は増大するように思える。企業と途上国間における契約で、利益配分が最大の争点となる理由もここにある。しかし実際には、ある水準以上に配分率を高くすると、得られる利潤は逆に低下する現象が観察される。図 8b を見ると、企業の利潤は 5%で、途上国の利潤は 9%で最も大きくなっている。

まず企業側からみると、 θ の減少により 1 サンプル当たりの限界コスト曲線 $MC = c\theta n^{\epsilon-1}$ は変化しないが、利益配分後の限界期待売り上げ曲線 $MR_c = (1-\theta)RaF^\delta$ は右上にシフトする (すなわち、追加的な 1 サンプル当たりの限界期待売り上げは増加する)。企業の利潤は限界コストと利益配分後の期待限界売り上げの均衡点で最大となるので、 θ の減少は採取数の増加、および企業の総利潤の増加をもたらす。しかしある値以上に θ が減少すると、途上国への利益配分が減少するために途上国は森林を保全するインセンティブを失い、森林保全面積 F は減少する。従って、 MR_c は減少し、企業の利潤および採取数 n が減少することになる。このようにして、企業の総利潤と採取数のピークは一致する。

一方途上国からみると、途上国の利潤は単位森林面積当たりの限界森林消費収益曲線 $MV = v$ と利益配分後の限界期待売り上げ曲線 $MR_d = \theta Ra\delta F^{\delta-1}n$ の均衡点で最大化する。 θ の増加は限界森林消費収益曲線には影響を与えないが、限界期待売り上げ曲線を右上に

シフトさせる（すなわち、追加的な単位森林面積当たりの限界期待売り上げは増加する）ので、森林保全面積の増加、および途上国の総利潤の増加をもたらす。しかしある値以上に θ が増加すると、途上国への利益配分に圧迫されて企業の得る利潤が減少し、そのため、企業の採取数 n （投資額）が減少する。従って、 MR_d は減少し、途上国の利潤と森林保全面積は減少することになる。

このようにして、途上国の総利潤と森林面積のピークは一致する。このような理由により、企業の採取数と利潤のピークは同期し、また途上国の森林保全面積と利潤のピークも同期する。しかしこれら 2 つのピークは同期しない。

まとめると、高い利益配分率は一時的に自分の得る利潤を増加させるが、しかし過度に多くの利益配分を求めれば、途上国の森林保全に対する（あるいは企業の投資に対する）インセンティブを失わせ、結局自らの得る利潤も減少することになる。

ここにはいくつか興味深い結果が見られる。第一に、一般的に企業と途上国間の交渉では、双方が自らにとってより有利な配分率を要求することになるが、その配分率は大きければ良いというものではないことが分かる。むしろ、ある水準にまで自らに対する配分率を下げた方が、結果的に取得できる利潤が増大することになる。これは生物多様性条約の「公正かつ衡平な配分」について考える際に、重要な示唆となるように思われる。第二に、しかし二者間の利潤のピークは異なる配分率において現れる。そのため、やはり依然として双方の完全な合意を目指すことは難しいだろう。第三に、第二の問題を踏まえた上で、森林保全面積が途上国の利潤と同期することから考えて、生物多様性条約の目的とする「生物の多様性の保全、その構成要素の持続可能な利用」の実現のためには、途上国の利潤を基準にして考えることの重要性が分かる。

8 まとめ

本論文で用いたモデルには、時間に関する記述がないという大きな問題点がある。現実的には、特に生物資源と創薬の関係を考える場合、その開発期間の長さが重要になる。創薬のプロセスは大まかに言って、(1)探索、(2)バリデーション、(3)スクリーニング、(4)最適化、(5)前臨床試験、(6)臨床試験、(7)申請－承認という過程を経て市場に出る²⁵。これには極めて長期間が必要となる²⁶。しかし一方で、途上国、特にその森林を消費している住民にとって必要なのは日々を過ごすための金銭であり、十数年後の支払いを待つことはできない。

また、生物資源へのアクセス料などはその明確さゆえに比較的同意しやすいが、ロイヤルティー配分については、創薬に伴う不確実性（すなわち商品化成功率の低さ）と長期間性のため、どの程度の配分が適切か事前に合意することが難しい。本モデルでは時間を考慮していないため、これらの問題について答えることはできない。

さらに、それぞれのパラメータは、前章で触れたように、ある程度の幅を持っている。これは今後公表される契約内容が増加していくことにより²⁷、ある程度改善するかもしれないが、有用種である確率などは、依然として推定値のままであり続けるだろう。

しかしいずれにせよ、本モデルは現実世界の厳密なシミュレーションを目的としたものではなく、これらの問題を踏まえた上でなお、いくつか興味深い結論を得ることができたと考えられる。

第一に、企業と途上国の交渉により、双方の得る利潤、および森林保全面積が劇的に増大するという。これは一見すると極当然のことに思えるかもしれないが、しかし先進国と途上国の相互協力を求める生物多様性条約にとって、必要不可欠な前提を保障していると言える。

第二に、現在明確な基準が定められていない、生物多様性条約の求める「公正かつ衡平な配分」に、ある程度具体的な決定方法を与えられる可能性を示せたということ。しかしその上で、依然として両者にとって最適な配分率は異なるため単純に合意が得られるとは限らない。そのため、森林保全という視点から考えるのであれば、途上国の配分率を重視するような条約上の枠組みが求められることになる。

第三に、森林から得られる製品（医薬品、あるいは木材等）に対してある種の認証システムを導入することにより、我々先進国住民の商品選択行動が、森林保全に対して大きな

²⁵ 須田三記也「ゲノム製薬」渡辺幹彦・二村聡編、前掲書、p188-197

²⁶ 小田切(前掲書、p224-225)によれば、これら全プロセスに平均で15年以上、また林(前掲書、p89)によれば10年から15年必要であるという。

²⁷ 林、前掲書、p75

影響力を持ち得、かつそのようなシステムのいくつかは企業と途上国の利潤を増加させることから、実現に向けたインセンティブを持つということ。森林認証はすでに実現しているが、生物多様性条約に準拠した生物資源由来の商品を認証するようなシステムは、検討するに十分な意義を持っていると言える。

第四に、利潤が最大化する時点における森林保全面積が、契約時によって保全される森林面積の基準になることが効率的となるということ。それ以上の面積を保全することは経済的な効率性を持たず、消費の対象となるだろう。すなわちこれは、保全面積の効率性に関する SLOSS(Single Large Or Several Small)問題に対する、一つの回答となる可能性を持っている。

森林保全は、本来我々人類の生存、そして地球環境全体に関わるものであり、企業や途上国の利潤という一面からのみ考察できるものではない。しかし本論文では、これら二者が協力し、単に自らの利潤を増加させるよう行動するだけで、森林保全面積が増大することが明らかになった。これは、例えば環境倫理や環境教育に基づいた森林保全運動とはまったく異なるアプローチではあるが、しかし即効的であり、かつ極めてロバストな構造を持っていると言える。

今後、森林の生物資源開発を巡る動きはますます活発になり、企業と途上国の利益配分を巡る論争は過熱するだろう。そのような中で、両者を合意形成に導き、かつそれが森林保全に結びつくようなシステムの構築が強く望まれている。本論文が、極めて稚拙ながらもその一助となることを願っている。

参考文献

- OECD 編集, 環境庁地球環境部監訳, 『OECD:貿易と環境』, 1995, 中央法規.
- ジョゼフ・R・デ・ダルジャン, 新田功他訳, 『環境倫理学—環境哲学入門』, 2005, 出版研.
- バリー・C・フィールド, 秋田次郎他訳, 『環境経済学入門』, 2005, 日本評論社.
- 西井正弘, 『地球環境条約』, 2005, 有斐閣.
- 宮崎正浩, 「微生物資源の経済価値」, 環境経済政策学会編『環境経済・政策学会年報第11号』, 2006.
- 林希一郎, 『生物遺伝資源アクセスと利益配分に関する理論と実際』, 2007, 大学教育出版.
- 鷲谷いづみ、矢原徹一, 『保全生態学入門』, 2000, 文一総合出版.
- 中山幹夫, 『社会的ゲームの理論入門』, 2006, 勁草書房.
- 財団法人 地球・人間環境フォーラム, 『環境要覧 2005/2006』, 2005, 古今書院.
- (財)バイオインダストリー協会監修, 渡辺幹彦・二村聡編, 『生物資源アクセス バイオインダストリーとアジア』, 2002, 東洋経済新報社.
- 財団法人バイオインダストリー協会, 『平成17年度環境対応技術開発等(生物多様性条約に基づく遺伝資源へのアクセス促進事業)委託事業報告書 生物多様性条約に基づく遺伝資源へのアクセス促進事業 平成17年度報告書 — 資料編 —』, 2006.
- 小田切宏之, 『バイオテクノロジーの経済学 「越境するバイオ」のための制度と戦略』, 2006, 東洋経済新報社.
- 畠山武道、柿澤宏昭編著, 『生物多様性保全と環境政策』, 2006, 北海道大学出版会.
- インゲ・カール、イザベル・グルンベルグ、マーク・A・スターン編, FASID 国際開発研究センター訳, 『地球公共財 グローバル時代の新しい課題』, 1999, 日本経済新聞社.
- 森田恒幸、天野明弘編, 『地球環境問題とグローバル・コミュニティ』, 2004, 岩波書店.
- ハル・R・ヴァリアン, 佐藤隆三監訳, 『入門ミクロ経済学』, 2005, 勁草書房.
- バリー・C・フィールド, 秋田次郎、猪瀬秀博、藤井秀昭訳, 『環境経済学入門』, 2005, 日本評論社.

Appendix I データ一覧

θ	R	a	δ	ε	c	v	F_0
0.09	3000000	0.000001	0.050	1.100	1.00	1.00	10000000

上記の一覧がパラメータの基本値となる。以下、変化させるパラメータと、その値におけるナッシュ均衡とナッシュ交渉解それぞれの採取数、保全森林面積、および企業と途上国の利潤を記す。それ以外のパラメータ値は上記の表に従うとする。

R	n_{NE}	F_{NE}	π_{NEc}	π_{NEd}	n_{NB}	F_{NB}	π_{NBc}	π_{NBd}
2930000	1068482	23292	428197	100442549	89095187	39925500	14236519	116441756
2940000	1152523	25315	465387	100480985	96103069	43393200	15472984	117869789
2950000	1242855	27506	505664	100522612	103635419	47148700	16812095	119416343
2960000	1339924	29878	549273	100567683	111729534	51214800	18261977	121090808
2970000	1444209	32446	596476	100616468	120425382	55616100	19831351	122903308
2980000	1556217	35224	647556	100669260	129765123	60378800	21529648	124864643
2990000	1676494	38230	702817	100726373	139794399	65531400	23366929	126986538
3000000	1805617	41481	762585	100788144	150561258	71104200	25354081	129281479
3010000	1944205	44997	827211	100854936	162117414	77130000	27502743	131762969
3020000	2092917	48797	897072	100927139	174517754	83643900	29825445	134445464
3030000	2252455	52904	972572	101005169	187820801	90683600	32335644	137344489

表 3 : R を変化させた場合

δ	n_{NE}	F_{NE}	π_{NEc}	π_{NEd}	n_{NB}	F_{NB}	π_{NBc}	π_{NBd}
0.040	230562	3449	79262	100082781	5143472	1508400	685907	100944957
0.041	272418	4248	95227	100099351	6816560	2088500	914877	101253775
0.042	324223	5270	115326	100120195	9139605	2927700	1235746	101684258
0.043	388869	6589	140859	100146653	12406768	4158600	1691615	102292550
0.044	470247	8310	173603	100180555	17064994	5990800	2348780	103164640
0.045	573639	10576	216024	100224440	23804235	8761300	3310852	104434435
0.046	706302	13591	271575	100281859	33705205	13020800	4742851	106313750
0.047	878322	17649	345159	100357854	48493162	19687400	6912156	109144358
0.048	1103887	23177	443830	100459672	70972666	30322200	10260758	113488420
0.049	1403232	30806	577886	100597884	98840032	44208700	16419234	119021786
0.050	1805617	41481	762585	100788144	150561258	71104200	25354081	129281479

表 4 : δ を変化させた場合

ε	n_{NE}	F_{NE}	π_{NEc}	π_{NEd}	n_{NB}	F_{NB}	π_{NBc}	π_{NBd}
1.10	241424	4989	91717	100094791	21503870	9194700	2889276	103748965
1.09	292759	6112	112354	100116120	26076495	11263600	3539359	104592517
1.08	355642	7501	137892	100142513	31677574	13823800	4343843	105636389
1.07	432814	9223	169557	100175240	38551478	16998300	5341347	106930729
1.06	527704	11363	208899	100215900	47003374	20942300	6580702	108538822
1.05	644608	14027	257878	100266522	57416255	25852600	8123646	110540901
1.04	788920	17351	318984	100329676	65784156	29742500	10605439	112248280
1.03	967425	21507	395382	100408633	80668730	36865800	13145472	115181735
1.02	1188684	26714	491104	100507564	99118306	45791000	16328003	118857231
1.01	1463513	33252	611305	100631793	122035009	56998700	20324375	123472680
1.00	1805617	41481	762585	100788144	150561258	71104200	25354081	129281479

表 5 : ε を変化させた場合

c	n_{NE}	F_{NE}	π_{NEc}	π_{NEd}	n_{NB}	F_{NB}	π_{NBc}	π_{NBd}
1. 10	241424	4989	91717	100094791	21503870	9194700	2889276	103748965
1. 09	292759	6112	112354	100116120	26076495	11263600	3539359	104592517
1. 08	355642	7501	137892	100142513	31677574	13823800	4343843	105636389
1. 07	432814	9223	169557	100175240	38551478	16998300	5341347	106930729
1. 06	527704	11363	208899	100215900	47003374	20942300	6580702	108538822
1. 05	644608	14027	257878	100266522	57416255	25852600	8123646	110540901
1. 04	788920	17351	318984	100329676	65784156	29742500	10605439	112248280
1. 03	967425	21507	395382	100408633	80668730	36865800	13145472	115181735
1. 02	1188684	26714	491104	100507564	99118306	45791000	16328003	118857231
1. 01	1463513	33252	611305	100631793	122035009	56998700	20324375	123472680
1. 00	1805617	41481	762585	100788144	150561258	71104200	25354081	129281479

表 6 : c を変化させた場合

v	n_{NE}	F_{NE}	π_{NEc}	π_{NEd}	n_{NB}	F_{NB}	π_{NBc}	π_{NBd}
1. 00	1805617	41481	762585	100788144	150561258	71104200	25354081	129281479
1. 10	1624178	33564	678730	110701479	144668045	61857700	21381258	137743419
1. 20	1474506	27663	610255	120630708	131336296	50982200	19224177	144944421
1. 30	1349031	23155	553381	130571928	120160081	42674600	17432542	152619678
1. 40	1242399	19639	505461	140522402	110662387	36195000	15922943	160660943
1. 50	1150717	16848	464585	150480157	102496016	31050100	14635318	168990127
1. 60	1071089	14597	429347	160443737	95403333	26901500	13525248	177549718
1. 70	1001316	12757	398684	170412046	89188846	23510900	12559262	186296398
1. 80	939701	11235	371782	180384243	83700442	20706400	11711841	195196750
1. 90	884911	9963	348008	190359672	78820274	18362200	10962908	204224987
2. 00	835888	8890	326861	200337816	74453871	16384100	10296704	213360602

表 7 : v を変化させた場合

θ	n_{NE}	F_{NE}	π_{NEc}	π_{NEd}	n_{NB}	F_{NB}	π_{NBc}	π_{NBd}
0.01	930876	2044	367944	100038838	82913875	3767300	11590996	101536046
0.03	2050733	14921	877203	100283508	171000564	25577400	29164823	110533048
0.05	2330192	29224	1009557	100555256	194302868	50093700	33565319	120629129
0.07	2161104	38470	929273	100730928	180203702	65942400	30896034	127155791
0.09	1805617	41481	762585	100788144	150561258	71104200	25354081	129281479
0.11	1411587	39541	581672	100751272	117705199	67777800	19339172	127911628
0.13	1051809	34587	420853	100657160	87705087	59287200	13992334	124415109
0.15	754677	28351	292104	100538674	62928722	48597700	9711732	120013057
0.17	524629	22058	195811	100419106	43746089	37810600	6510242	115570816
0.19	354725	16425	127316	100312080	29578723	28155000	4232934	111594536
0.21	233865	11771	80512	100223650	20830688	21694100	2536279	108845352

表 8 : θ を変化させた場合

Appendix II 本モデルの基本形

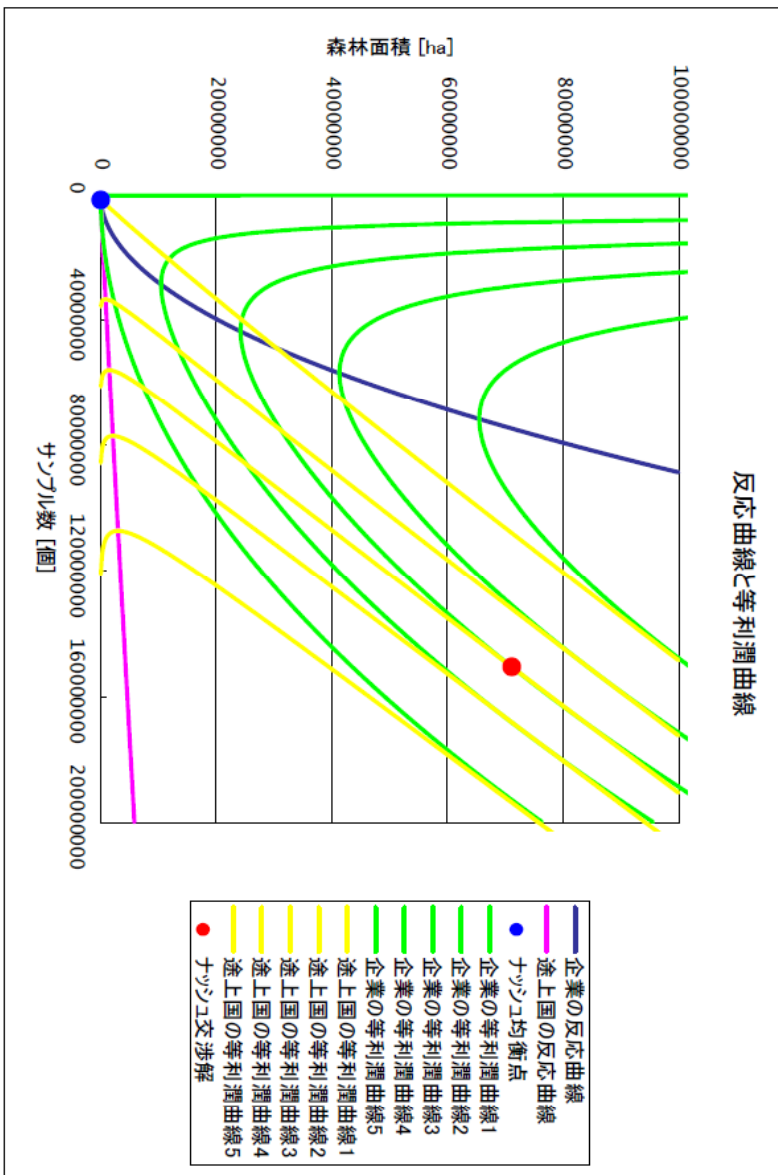
パラメータ	
a	0.0000010
R	3000000
C	1
D	0.05
e	1.10
V	1
θ	0.09
F0	100000000

利潤(途上国)	
π_{d1}	100788144.0
π_{d2}	117000000.0
π_{d3}	129281479.1
π_{d4}	141000000.0
π_{d5}	158000000.0

利潤(企業)	
π_{c1}	762584.8
π_{c2}	16000000.0
π_{c3}	25354081.1
π_{c4}	34000000.0
π_{c5}	43800000.0

ナッシュ均衡	
π_{NE}	1805616.87
π_{NE}	41481.26
π_{NEC}	762584.84
π_{NEd}	100788144.00

ナッシュ交渉解	
π_{NB}	150561257.90
π_{NB}	71104200.00
π_{NBC}	25354081.10
π_{NBd}	129281479.10



Appendix III ナッシュ交渉解の導出

ナッシュ交渉解の存在は証明したが、しかしその値を一般形で表すことはできない。そこで本論文では、プログラムを組み、ナッシュ交渉解の近似値を求めることにした。以下にその基本的なロジックを示す。

i) ナッシュ交渉解

$\pi_c - \pi_d$ 平面におけるパレートフロンティアと、ナッシュ均衡を原点とする ${}_{NE}\pi_c - {}_{NE}\pi_d$ 平面における直角双曲線の接点がナッシュ交渉解となる。従って(5.4)より、ナッシュ交渉解の座標を (n_{NB}, F_{NB}) 、企業の利潤を π_{NBc} 、途上国の利潤を π_{NBd} とすると

$$-\frac{vF_{NB}}{\delta\epsilon cn_{NB}^\epsilon} = -\frac{\pi_{NBd} - \bar{\pi}_{NEd}}{\pi_{NBc} - \bar{\pi}_{NEc}} \quad (7.1)$$

またこの点はパレートフロンティア上の点でもあるので、(3.13)より

$$(1-\theta)vRaF_{NB}^\delta + \theta Ra\delta F_{NB}^{\delta-1} n_{NB} c \epsilon n_{NB}^{\epsilon-1} - v c \epsilon n_{NB}^{\epsilon-1} = 0 \quad (7.2)$$

(7.1)に(3.15)を代入して

$$\begin{aligned} \frac{vF_{NB}}{\delta\epsilon cn_{NB}^\epsilon} &= \frac{\frac{\theta c \epsilon n_{NB}^\epsilon v F_{NB}}{\theta \delta \epsilon c n_{NB}^\epsilon + (1-\theta)vF_{NB}} + v(F_0 - F) - \bar{\pi}_{NEd}}{\frac{(1-\theta)c \epsilon n_{NB}^\epsilon v F_{NB}}{\theta \delta \epsilon c n_{NB}^\epsilon + (1-\theta)vF_{NB}} - c n_{NB}^\epsilon - \bar{\pi}_{NEc}} \\ &= \frac{\theta c \epsilon n_{NB}^\epsilon v F_{NB} + \left\{ \theta \delta \epsilon c n_{NB}^\epsilon + (1-\theta)vF_{NB} \right\} \left\{ v(F_0 - F) - \bar{\pi}_{NEd} \right\}}{(1-\theta)c \epsilon n_{NB}^\epsilon v F_{NB} + \left\{ \theta \delta \epsilon c n_{NB}^\epsilon + (1-\theta)vF_{NB} \right\} \left\{ -c n_{NB}^\epsilon - \bar{\pi}_{NEc} \right\}} \end{aligned}$$

従って

$$\begin{aligned} \delta\epsilon cn_{NB}^\epsilon \left[\theta c \epsilon n_{NB}^\epsilon v F_{NB} + \left\{ \theta \delta \epsilon c n_{NB}^\epsilon + (1-\theta)vF_{NB} \right\} \left\{ v(F_0 - F) - \bar{\pi}_{NEd} \right\} \right] \\ - vF_{NB} \left[(1-\theta)c \epsilon n_{NB}^\epsilon v F_{NB} + \left\{ \theta \delta \epsilon c n_{NB}^\epsilon + (1-\theta)vF_{NB} \right\} \left\{ -c n_{NB}^\epsilon - \bar{\pi}_{NEc} \right\} \right] = 0 \end{aligned}$$

これを展開して cn_{NB}^ϵ について整理すると

$$\begin{aligned}
& \theta(\delta\varepsilon)^2 \left\{ \left(1 - \frac{1+\varepsilon}{\delta\varepsilon} \right) vF_{NB} - vF_0 + \bar{\pi}_{NEd} \right\} \left(cn_{NB}^\varepsilon \right)^2 \\
& + \left[vF_{NB} (1-\theta) \delta\varepsilon \left\{ \left(1 - \frac{1-\varepsilon}{\delta\varepsilon} \right) vF_{NB} - vF_0 + \bar{\pi}_{NEd} \right\} - \theta \delta\varepsilon \bar{\pi}_{NEc} vF_{NB} \right] cn_{NB}^\varepsilon \\
& - (1-\theta) \bar{\pi}_{NEc} (vF_{NB})^2 = 0
\end{aligned} \tag{7.3}$$

これを解けば、 n_{NB} を F_{NB} で表せるので、これを (3.13) に代入してナッシュ交渉解の座標

(n_{NB}, F_{NB}) およびナッシュ交渉解における企業と途上国の利潤 π_{NBc} 、 π_{NBd} を求めることができる。

ii) パレートフロンティアで傾きが負の区間

$$(3.19) \text{ より } \frac{dF}{dn} = - \frac{-v\varepsilon n^{-2} \left\{ (1-\theta)RaF^\delta n - cn^\varepsilon \right\}}{-\delta F^{-2} c\varepsilon n^{\varepsilon-1} (\theta RaF^\delta n - vF)} \text{ なので、傾きが } 0 \text{ である点 } (n_{Zero}, F_{Zero})、\text{ お}$$

よび傾きが垂直である点 (n_{Inf}, F_{Inf}) を求めると、それぞれ

$$\begin{cases} F_{Zero} = \left\{ \frac{cn_{Zero}^{\varepsilon-1}}{(1-\theta)Ra} \right\}^{\frac{1}{\delta}} \\ n_{Inf} = \frac{v}{\theta Ra F_{Inf}^{\delta-1}} \end{cases}$$

となるので、これを (3.13) に代入して区間 $[0, F_0]$ において近似値を求める。

iii) ナッシュ均衡と同じ利潤を企業に与える点 (n_{Pc}, F_{Pc})

(4.1) より

$$F_{Pc} = \left\{ \frac{cn_{Pc}^\varepsilon + \bar{\pi}_{NEc}}{(1-\theta)Ran_{Pc}} \right\}^{\frac{1}{\delta}} \tag{7.4}$$

なので、これを (3.13) に代入して、区間 $[F_{Zero}, F_{Inf}]$ において近似値を求める。

iv) ナッシュ均衡と同じ利潤を途上国に与える点 (n_{Pd}, F_{Pd})

(4.2) より

$$n_{Pd} = \frac{\bar{\pi}_{NEd} - v(F_0 - F_{Pd})}{\theta Ra F_{Pd}^\delta} \quad (7.5)$$

なので、これを (3.13) に代入して、区間 $[n_{Inf}, n_{Zero}]$ において近似値を求める。

v) (7.3) の近似値を区間 $[F_{Pc}, F_{Pd}]$ において求める。それが (3.13) を満たす点がナッシュ交渉解となる。