

気候変動に関するパリ協定の 目標は達成できるのか？

—政府と企業の気候戦略に関するゲーム理論アプローチ—

Can the Target of the Paris Agreement on Climate Change be achieved?
A Game Theory Approach on Climate Strategies of
Governments and Corporations

宮崎 正 浩
Masahiro MIYAZAKI

要 旨

気候変動枠組条約パリ協定では、産業革命前から21世紀中の大気温の上昇が2℃を十分下回り、1.5℃を達成するために努力することが目標となった。この結果今後の大気中に放出可能なCO₂の最大量（炭素バジェット）が決まり、これを超える化石燃料の埋蔵量はもはや燃やすことができない「座礁資産」となる見込みである。

本研究の目的は、化石資源を採掘又は利用する企業を対象に、その気候変動リスクの開示の有無と気候変動に対する戦略の現状を明らかにした上で、企業及び政府がパリ協定の目標を達成する戦略を採用するかどうかについてゲーム理論（戦略形ゲーム）を用いて分析することである。

本研究の結果は以下の通りである。

気候変動による影響は外部負経済となってCO₂を排出する企業には被害が及ばないという前提であれば、企業はCO₂の排出削減に取り組まないことが企業の利益に合致した戦略となる。しかし、企業にもある程度の負の影響があると想定すれば、パリ協定の目標達成に自主的に取り組む可能性が生じてくるが、それは不確実である。機関投資家が座礁資産となり得る化石資源を保有する企業を自主的にダイベストする動きはあるが、それだけではパリ協定の目標は達成できない。各国政府が炭素価格を導入すれば、世界がパリ協定の目標を達成することが期待

できる。

しかし、途上国は国内の貧困対策との関係から炭素価格の導入が困難な場合がある。このような場合には先進国が途上国に対して資金移転を行うことが有効な方法である。また、1国のパリ協定からの離脱は、当該国の企業にとっては利益となるが、当該国として、また世界全体として不利益となることから、国の政策としては望ましくない。

キーワード：気候変動リスク、パリ協定、炭素バジェット、座礁資産、ダイベストメント

1. はじめに

2016年に発効した気候変動枠組条約パリ協定によって、締約国は産業革命前からの21世紀中の大気温の上昇が2℃を十分下回り、1.5℃を達成するために努力することが法的に定められた。IPCC第5次レポートに示されたように、CO₂の累積総排出量と世界平均地上気温の応答は、ほぼ比例関係にあることから、上記のパリ協定の目標を実現するために今後大気中に放出可能なCO₂の上限（炭素バジェット）が明らかとなった¹⁾。

ポツダム研究所の研究成果によると、気温上昇が2℃を超える確率を20%以下とするための2010-2050年の炭素バジェットは565ギガトンであり、このため世界の化石燃料資源の埋蔵量2,795ギガトンのうち約80%が燃やすことができない「座礁資産」となる見込みである（Carbon Tracker Initiative、2011）。

一方、パリ協定に関して締約国が提出したCO₂削減目標（NDCs）を合計するとパリ協定の目標は達成できないことから、今後さらに野心的な排出削減計画の策定が求められている。

本研究の目的は、化石資源を採掘又は利用する企業を対象に、その気候変動リスクの開示の有無と気候変動に対する戦略の現状を明らかにした上で、企業及び政府がパリ協定の目標を達成する戦略を採用するかどうかについてゲーム理論を用いて分析することである。

ゲーム理論は、複数の意思決定をする主体が、その意思決定に関して相互作用する状況を研究する理論である（渡辺、2008、p.1）。気候変動に関しては上記の通り不確実な状況の中で企業は気候変動リスクと機会に対応するため、複数のシナリオを用いて戦略を構築し、実行することが求められている。企業は市場の中で競争している他社と相互に影響を与えあう。そこで、本研究では、企業と政府が採用する戦略の選択肢をパリ協定の目標を達成する2℃戦略と現状の延長線上の4℃戦略の2つとし、ゲーム理論（戦略形ゲーム）を用いて企業と政府がどちらの戦略を選択するかについて分析する。

2. 気候変動リスクと座礁資産

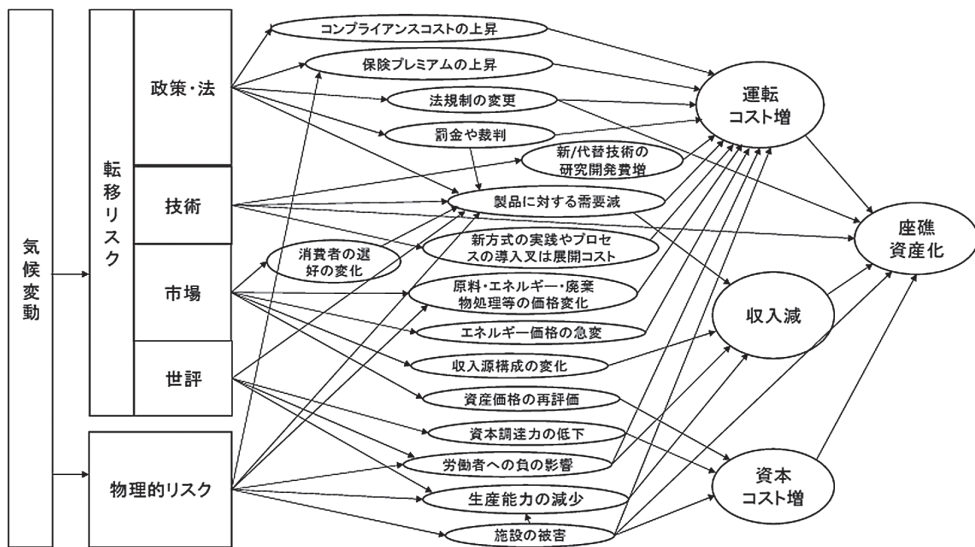
2.1 気候変動のリスクと機会についての最近の動向

気候変動リスクは企業業績に影響するマテリアルな情報であるとの認識が高まっている。

2000年に発足した「カーボン・ディスクロージャー・プロジェクト」(CDP)は、世界の投資家の支援を受けて世界の企業に対しCO₂を含めた温室効果ガス(GHG)排出量の開示を求めている²⁾。

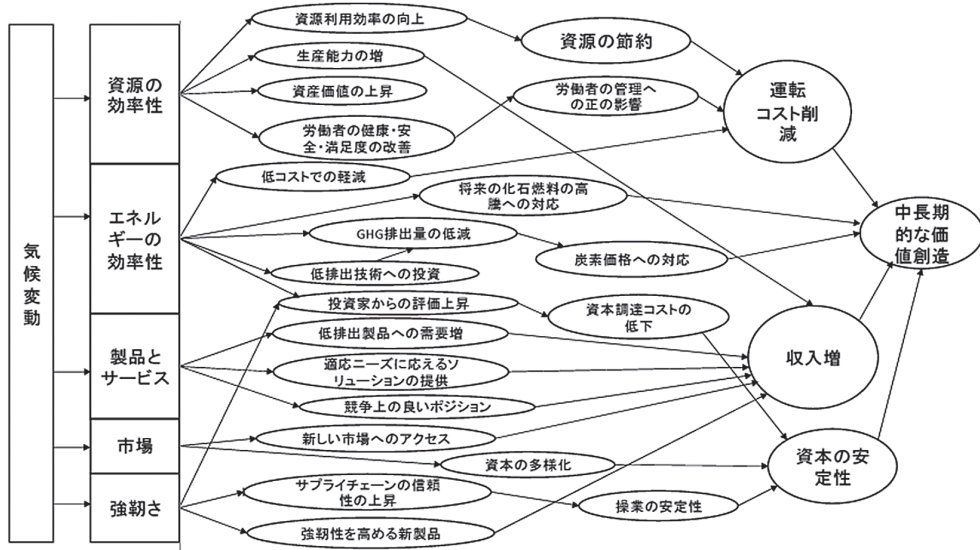
世界主要国の金融当局によって構成される「金融安定理事会」が2015年に設置した「気候関連財務情報開示タスクフォース」(TCFD)は2017年に最終報告書を公表した。この報告書では、気候変動と財務的な影響との関係を整理している(図1、2)。

図1で明らかなように、気候変動リスクは最終的には座礁資産が生じるリスクに繋がっていることがわかる³⁾。



出所：TCFD (2017) から筆者作成

図1 気候関連リスクと財務的影響の関係



出所：TCFD（2017）から筆者作成

図2 気候関連の機会とその財務的影響

また、図2は気候変動の機会を生かしていけば、コストを削減し、収入を増加させ、企業の中長期的な価値を生み出すことも可能であることを示している。

TCFD（2017）は、今後の気候変動のリスクと機会に対し、企業として対応するためのガバナンス、戦略、リスクマネジメント、リスクと機会を評価する指標と目標に関する情報開示を進めること、また、その目標設定のためにパリ協定で合意された2℃目標を含む複数の気候変動シナリオ分析を行うことを推奨している。

2.2 座礁資産

座礁資産とは、IEA（2013, p.98）によると「気候政策によってもたらされた市場や規制環境の変化の結果、その（投資を決定した時点で想定されていた）経済的な寿命が終わる前に、経済的なリターンを得ることができなくなっている既存の資産」と定義されている。この定義によると、座礁資産の価値はゼロ又はマイナスということになる。マイナスの価値となるのは、例えば鉱山活動であれば、経済的なリターンが得られなくなって採掘を終了したときには、採掘場を原状復帰させるための費用を払う必要があるため、マイナスの価値となる場合が考えられる。

一方、Caldecott et al.（2013）は座礁資産を「環境的に持続可能ではない資産が、様々な環境関連のリスクが原因となって、予期せぬ若しくは早期の評価損や評価額の下方修正がされた資産又は負債に転換した資産」と定義した。また、Caldecott et al.（2016）は、そのような環境関連

気候変動に関するパリ協定の目標は達成できるのか？

のリスクとして、下記を挙げた。

- ・環境がもたらす挑戦（例：気候変動、自然資本の劣化）
- ・変化する資源の状況（例：大量のシェールガス生産、磷鉱石の枯渇）
- ・政府の新しい政策（例：炭素価格、大気汚染規制）
- ・クリーンな技術のコスト低下（例：太陽光発電、陸上風力発電、電気自動車）
- ・発展する社会的規範（例：化石燃料からの資本撤退運動）と消費者の行動（例：認証制度）
- ・負債（例：炭素負債）と制度の解釈の変更（例：受託責任、情報開示義務）

この Caldecott et al. (2013) の定義によると、座礁資産の価値はゼロ又はマイナスの場合だけでなく、通常の資産より低くなるがプラスの場合も含めている。

既存資源が座礁資産となる可能性があることはいくつかの先行研究で指摘されている。例えば Green & Newman (2017) は、オーストラリア（パース）では、電力料金が高く、太陽光が強く、安価な中国の技術を利用できることから、太陽光パネル・バッテリーシステムの発電単価は急速に低下し、電力会社の料金とほぼ同程度となっており、このような過去のトレンドが継続すれば、電力会社の料金を下回り、その結果、電力会社の資産は座礁資産となると結論付けた。

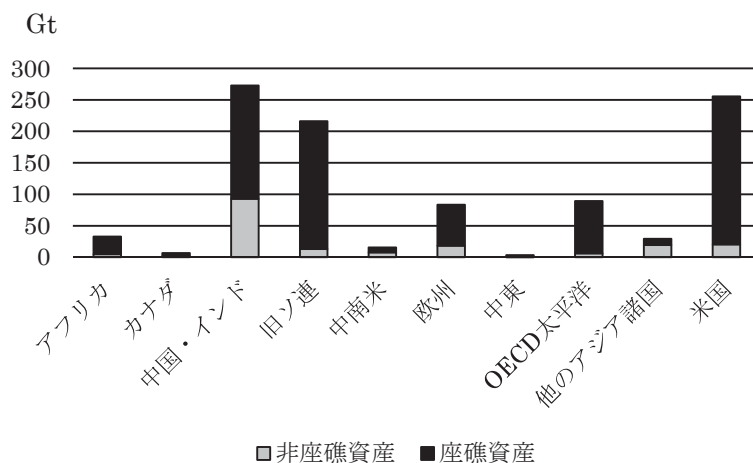
Climate Analytics (2016) は、エネルギーシステムモデルを用いてパリ協定の目標の2℃達成の確率を85%以上、1.5℃達成の確率を50%以上とするシナリオで計算したところ、石炭は2050年にはほぼ全廃する必要があると結論付けた。このことは、2050年には石炭資源はすべて座礁資産となることを意味する。

McGlade & Ekins (2015) は世界の埋蔵資源の開発コストを推計し、それを基に資源別、地域別の座礁資産額の推計を行ったところ、石油の埋蔵資源の約3割、天然ガスの約5割、石炭の約8割が座礁資産となることが明らかとなった。このうち、石炭について地域別の埋蔵量とその座礁資産分を示すと図3の通りであり、米国が最も多いことがわかる。

日本の座礁資産については、オックスフォード大学 (2016) は、日本の既存及び計画段階の石炭火力発電所の相当量が座礁資産となり、その総価値は7～8兆円となる予測を提示している。

一方、気候変動に対する懸念から、投資家に対し、化石燃料資源への投資から撤退すること（ダイベストメント）を求める運動が米国の大学から始まっている⁴⁾。

Ansar et al. (2013, p.12) は、過去のたばこや南アフリカのアパルトヘイトの事例を基に化石燃料からのダイベストメントが化石燃料企業に与える影響を分析したところ、一部の投資家がダイベストしても他の中立の投資家が代わりに投資することが予想されるために直接的な影響は小さい（特に、石油とガス）。ただし、石炭企業は株式市場での資金調達額が比較的小さいために代替りの投資家を見つけることが困難なために影響が大きい。一方、ダイベストメントのキャンペーンが化石燃料企業に対する悪評を高めることによって化石燃料企業がビジネスをしにくくなり中立の投資家における化石燃料企業の価値（将来のネットのキャッシュフローの現在価値）に



出所：McGlade & Ekins (2015) から筆者作成

図3 地域別の石炭埋蔵量と座礁資産

対する期待を低下させること、政府が炭素税を導入するなどの規制を行う可能性があること、市場での規範の変更（例えば社会的責任投資（SRI）における化石燃料企業の排除）などにつながると、間接的な影響が大きいと結論づけた。

以上のことから、世界がパリ協定の目標を達成しようとする、大量の化石資源が座礁資産となり、それらを保有又は使用する企業は大きな損失を受けることとなる。化石資源を保有又は使用する企業は、このような気候変動リスクを開示しているのであろうか。また、今後はどのような戦略で対応しようとしているのか。

3. 化石資源関連企業の対応

本節では、保有する化石燃料の埋蔵量が多い世界の石油・ガス会社及び石炭会社の各上位10社⁵⁾、ならびに売上高が高い世界の電力会社10社⁶⁾、計30社を対象として、各社の気候変動リスクの開示状況と気候変動に対する戦略を各社の公表された財務情報を基に整理した。

3.1 石油・ガス会社

石油の埋蔵量が多い石油・ガス会社上位10社の概要は表1の通りである。ただし、Gazprom（露）、Petrobras（西）、Rosneft（露）の3社は情報が十分開示されていない又は英語の資料がないため除外し、下位の3社を加えた。

気候変動に関するパリ協定の目標は達成できるのか？

表1 石油・ガス10社の気候変動への対応

会社	気候変動リスク	シナリオ分析	気候変動に対する戦略
Lukoil (露)	なし	なし	政府による規制に対応する。
ExxonMobile (米)	開示	あり	2℃以内とすると炭素価格は2050年までに200ドル以上となり、貧困層が受け入れ不可と判断。座礁資産は発生しない。
BP (英)	開示	2035年まで	上流ではガスが約50%。炭素価格を支持し、導入(40ドル、80ドル)。
Shevron (米)	開示	あり	座礁資産リスクあり。炭素価格を導入。
ConocoPhillips (米)	開示	あり	炭素価格(9～43ドル)を導入。
Total (仏)	開示	あり	石炭事業から撤退。太陽光発電会社を買収。炭素価格導入。CEO給与にCSRを考慮。
Royal Dutch Shell (英・蘭)	開示	あり	天然ガス会社を買収。CCSを実施。炭素価格(40ドル)を導入。従業員のボーナスにGHG原単位を考慮。
ENI (伊)	開示	あり	脱炭素戦略を採用(ガス・再生可能エネルギーへ)。炭素価格(40ドル)を導入。座礁資産リスクの最小化を目指す。
Occidental Petroleum (米)	開示	なし	CCSとCCUSを推進。
Bashneft (露)	なし	なし	なし

出所：各社のアニュアルレポート等から筆者作成

調査対象とした石油・ガス会社のほとんどは、気候変動によって自社の操業やキャッシュフローに影響を受けるリスクがあることを説明しており、2℃以下を目標とするシナリオ分析を行っている。座礁資産リスクに言及しているのは3社あるが、そのうちExxonMobileは2℃シナリオが実現しないと考え、座礁資産は生じないという見方を示している。

これらの会社の気候変動対策としては、自社の操業からのGHG排出削減(フレアガス燃焼の削減、メタン排出の削減、エネルギー効率化、CO₂の回収と貯蔵(CCS)等)を進めるほか、石炭のウエイトの低減又は撤退、天然ガスや再生可能エネルギー(バイオ燃料、風力、太陽光等)への投資増を多くの会社が進めている。また、顧客におけるエネルギー効率向上を支援する会社もある。6社が社内で炭素価格を導入し、新規投資の評価に用いている。

3.2 石炭会社

石炭の埋蔵量が多い世界の石炭会社上位10社の概要は表2の通りである。ただし、Shanxi Coking（中）、Inner Mongolia Yitai Coal（中）は英語の資料がないので除外し、下位の2社を加えた。

表2 石炭10社の気候変動への対応

会社	気候変動リスク	シナリオ分析	気候変動に対する戦略
Severstal（露）	なし	なし	なし
Anglo American（英・南ア）	開示	あり	将来の炭素と水の中立を目指す。炭素価格を支持。CCSを推進。地元の適応を支援。
BHP Billiton（豪）	開示	あり	座礁資産リスクあり。炭素価格を支持。取締役会で定期的に討議。
Exxaro Resources.（南ア）	開示	なし	座礁資産リスクあり。
Glencore plc（瑞・英）	開示	あり	石炭埋蔵量を完全に利用する。
Datang International Power Generation（中）	なし	なし	なし
Peabody Energy Corp（米）	開示	なし	座礁資産リスクあり。2016年に破産し、その後再建。
Mechel OAO（露）	なし	なし	なし
China Shenhua Energy Co（中）	なし	なし	古い過剰施設を除却。
Coal India（印）	なし	なし	なし
Arch Coal（米）	開示	なし	なし。2016年に破産し、その後再建。

出所：各社のアニュアルレポート等から筆者作成

上記企業では、石炭の専門は少なく、他の鉱物も扱う会社が多い。6社が気候変動リスクを明記しており、3社が座礁資産リスクに言及している。座礁資産とはならず完全に利用している会社が1社ある。シナリオ分析を行っている会社は3社と少ない。以上のことから、石油・ガス会社と比較すると、石炭会社は気候変動リスクへの対応が遅れているといわざるを得ない。

3.3 電力会社

世界の電力会社上位10社の概要は、表3の通りである。

気候変動に関するパリ協定の目標は達成できるのか？

表3 電力10社の気候変動への対応

会社	気候変動リスク	シナリオ分析	気候変動に対する戦略
E.ON (独)	なし	なし	E. ON Climate and Renewables が再生可能エネルギー事業を推進。
ENEL (伊)	開示	あり	2050年までに発電の完全脱炭素を目指す。
Electricity de France (仏)	開示	なし	石炭火力13期中10基を閉鎖。石油火力も閉鎖中。炭素価格導入を支持。
Engie (仏)	開示	あり	2016年から石炭火力の売却を開始。国際的な炭素価格の導入を促進。
Korea Electric Power (韓)	なし	なし	なし
RWE (独)	開示	あり	再生可能エネルギーは別会社で。独自の2030年目標によって石炭火力発電所の早期閉鎖の可能性あり。
東京電力 (日)	なし	なし	福島震災復興の一環として、世界最新鋭の石炭火力発電所の建設を明記。
SSE (英)	開示	あり	火力(主に石炭)を再生可能エネルギーに転換。炭素価格を支持
China Huaneng (中)	なし	なし	なし
Exelon (米)	開示	なし	ガス発電が多く、低炭素型となっている。
Gas Natural (西)	開示	なし	なし

出所：各社のアニュアルレポート等から筆者作成

7社が気候変動リスクを開示し、4社がシナリオ分析を行っている。気候変動への対応としては、CO₂排出量を削減する必要性に直面しており、大部分の会社は、CO₂排出原単位が大きい石炭火力を縮小し、天然ガスや再生可能エネルギーに転換する方針である。2050年までに完全な脱炭素を目標とする会社も1社ある(ENEL)。一方、新規で石炭火力発電を建設する会社も1社ある(東京電力)。

炭素価格の導入は低炭素への転換を容易にするものであるという理由から、その導入を支持している会社が3社あった。

3.4 まとめ

本節では、石油・ガス、石炭、電力の各10社、計30社を対象に、気候変動リスクの開示、シナリオ分析の有無、気候変動への戦略について概要をまとめた。

約3分の2の会社(21社)は気候変動リスクを開示し、気候変動によって政府のCO₂排出への規制が進み、また異常気象などによる災害が起きることが会社にとってリスクであるとの認識を

記述している。しかし、座礁資産リスクに言及している会社は6社と少ない。

約半数（14社）の会社がシナリオ分析を行い、そのほとんどがIEAの2℃シナリオを採用していた。

気候変動に対する戦略としては、天然ガスや再生可能エネルギーなどの低炭素エネルギーへの転換、エネルギー効率向上、顧客を含めたサプライチェーンでの排出削減などによって低炭素化を進める会社が多い。また、気候変動による影響に対する適応に取り組む会社もある。給与の評価にCSRを組み入れた会社も一部にあった。

以上のことから要約すると、世界の化石燃料資源を採掘又は使用する主要企業では、パリ協定の目標である2℃シナリオを基にCO₂削減と再生可能エネルギーの導入などを推進している企業は多いが、一方で気候変動リスクを開示せず、現在の延長線で事業を継続することを前提としていると思われる企業も少なくなく、取組に大きな差がある。

以上の現状を踏まえて、以下の研究では、気候変動に対する企業の戦略には、CO₂排出削減に取り組みパリ協定の目標達成への貢献を目指す戦略（これを「2℃戦略」と呼ぶ。）と、現状維持を前提として行動する戦略（これを「4℃戦略」と呼ぶ。）の2つがあるとして、ゲーム理論の一つである戦略形ゲーム⁷⁾で分析を行うこととする。

4. 企業はどのように行動するのか

4.1 企業の自主的努力でパリ協定の目標は達成できるか

最初に、企業の自主的努力だけでパリ協定の目標を達成することができるかどうかを戦略形ゲームで検討する。

世界は同じ規模と特徴を持つA社とB社の2つの企業で構成されているとしよう。両社とも2℃戦略を実行するためには、費用が貨幣単位で100単位⁸⁾必要であるとする。両社が2℃戦略を実行した場合には世界は2℃が実現し、気候変動による自然災害等の大きな影響（以下これを「気候影響」という。）が回避できるとしよう。この状態の気候影響を基準（すなわち0）とする。しかし、A又はB社のどちらかが4℃戦略を実行すると世界では3℃が実現し、その結果、-500単位の気候影響が生じるとしよう。また、両社が4℃戦略を実行する場合には世界で4℃が実現し、-1,000単位の気候影響が生じるとする⁹⁾。これらの気候影響は外部負経済として起き、A社、B社には被害は及ばないと仮定する。

以上の条件で両社の利得行列を計算すると表4の通りとなる。

気候変動に関するパリ協定の目標は達成できるのか？

表4 ケース1：気候影響がA社、B社に及ばない場合

		B社	
		2℃戦略	4℃戦略
A社	2℃戦略	2℃が実現 気候影響：0 利得（-100、-100）	3℃が実現 気候影響：-500 利得（-100、0）
	4℃戦略	3℃が実現 気候影響：-500 利得（0、-100）	4℃が実現 気候影響：-1,000 利得（0、0）

出所：筆者作成

A社とB社が協力しないで自己の私的利益を追求すると、両社とも4℃戦略を選択することが支配戦略¹⁰⁾となる。

ケース1では気候変動による影響はA社もB社も受けないと仮定したが、実際には大気温の上昇が2℃を超えると自然災害等の被害は企業に及ぶことになるであろう。

このため、次のケース2では3℃又は4℃が実現した場合にはその全体の気候影響が両国に等しく及び、それに比率 x ($0 < x < 1$) を掛けた影響がA、B社に等しく及ぶとしよう。その場合の利得行列は表5の通りとなる。

表5 ケース2：気候変動による被害の一部がA、B社に等しく及ぶ場合

		B社	
		2℃戦略	4℃戦略
A社	2℃戦略	2℃が実現 費用（-100、-100） 気候影響（0、0） 利得（-100、-100）	3℃が実現 費用（-100、0） 気候影響（-250 x 、-250 x ） 利得（-250 x -100、-250 x ）
	4℃戦略	3℃が実現 費用（0、-100） 気候影響（-250 x 、-250 x ） 利得（-250 x 、-250 x -100）	4℃が実現 費用（0、0） 気候影響（-500 x 、-500 x ） 利得（-500 x 、-500 x ）

出所：筆者作成

ケース2では、A社、B社とも2℃戦略を実行することが支配戦略となるのは、下記の場合である。

$$-100 > -250x, \text{ すなわち } x > 0.4$$

したがって、 $x > 0.4$ と想定される場合には、両社とも2℃戦略を実行することが支配戦略となる。このことは、世界的に大規模な企業がその社会的責任（CSR）として自主的に2℃戦略を実行する可能性があることを示している。しかし、 $x < 0.4$ と想定される場合には、両社とも4℃戦略

を実行することが支配戦略となり、パリ協定の目標を達成する行動をとることは期待できない。

4.2 投資家による座礁資産のダイベストメントは進むか

既述の通り、世界でパリ協定の目標を達成しようとする、多くの化石資源が座礁資産化することが予想され、既に一部の機関投資家が化石資源への投資からの撤退（ダイベストメント）を進めている（Fischer, 2015）。それでは、世界各国が将来炭素価格を導入するかどうか不確実な現時点で、投資家は、化石資源を保有する企業への投資を自主的にダイベストメントすることによってパリ協定の目標を達成することができるのであろうか。

世界は、投資家Aと投資家Bで構成され、それぞれが化石資源を有するC社とD社に投資しているとしよう。C社とD社が有する化石資源は、将来は価値がゼロとなる可能性があるが、現時点でプラスの価値があると評価されており、その価値は100単位としよう。

投資家AとBがそれぞれC社とD社をダイベストしようとする、買い手がないため両社の化石資源は除却せざるを得ない（この場合の利得を0とする）。その結果世界は2℃を達成する。しかし、投資家Aがダイベストし、投資家Bはダイベストしないとすると、AはC社をBに売却し（この場合の売買価格は50単位としよう）、C社及びD社の化石資源は燃やされて世界は4℃を実現する（投資家AがBに代わっても同じである）。投資家AとBが共にダイベストしないのであればC社とD社の化石資源は燃やされて世界は4℃を実現する。

このようなケースでの投資家A、Bの利得行列は表6の通りである。

表6 ケース3：投資家はダイベストするか否か

		投資家B	
		ダイベストする	ダイベストしない。
投資家A	ダイベストする	2℃が実現 気候影響：0 利得 (0, 0)	4℃が実現 気候影響：-1,000 利得 (50, 150)
	ダイベストしない。	4℃が実現 気候影響：-1,000 利得 (150, 50)	4℃が実現 気候影響：-1,000 利得 (100, 100)

出所：筆者作成

このケースでは、投資家AとBは共にダイベストしないことが支配戦略となる。従って、一部の投資家が化石資源を保有する企業を自主的にダイベストする動きはあっても、すべての投資家がダイベストすることは想定できないため、投資家によるダイベストメントのみではパリ協定の目標を達成することはできない。

気候変動に関するパリ協定の目標は達成できるのか？

以上のことから、パリ協定の目標達成のためには、企業と投資家だけの自主的な努力では無理である、というのが本節の結論である。では、各国政府はどのような政策を講じる必要があるであろうか。

5. 各国政府はどのように対応するのか

本節では、世界はA国とB国で構成され、それぞれの国にC社とD社が存在するモデルを考え、政府がどのような気候戦略を選択するかについて戦略形ゲームによって分析する。そのため、以下の利得表はこれまでのような企業のみ利得だけでなく、気候影響と国の利得（企業、気候影響、（炭素税を導入する場合には）税収の合計）を含めることとする。

5.1 各国が炭素価格を導入しない場合

パリ協定への参加の主体は各国政府である。各国は削減目標を掲げて、それを実現するための政策を立案し、実行する。しかし、各国政府が炭素価格を導入するかどうかは不確定である。そこで、まず、世界は、A国とB国で構成され、ともに炭素価格は導入しないケースを考える。

A国にはC社、B国にはD社のみが存在するとしよう。C社とD社は2℃戦略を実行するためには各100単位の費用が必要であるとし、4℃戦略を実行するための費用は0とする。気候変動による世界全体の気候影響は、2℃が実現する場合を0とし、3℃が実現する場合は-500単位、4℃が実現する場合は-1,000単位とし、その影響はC社とD社には及ばないが、A国とB国に等しく及ぶと仮定する。

このような条件での企業と国の利得は表7の通りである。

表7 ケース4：炭素価格が導入されない場合

		B国／D社	
		2℃戦略	4℃戦略
A国／C社	2℃戦略	2℃が実現 企業 (-100, -100) 気候影響 (0, 0) 国 (-100, -100)	3℃が実現 企業 (-100, 0) 気候影響 (-250, -250) 国 (-150, -150)
	4℃戦略	3℃が実現 企業 (0, -100) 気候影響 (-250, -250) 国 (-250, -350)	4℃が実現 企業 (0, 0) 気候影響 (-500, -500) 国 (-500, -500)

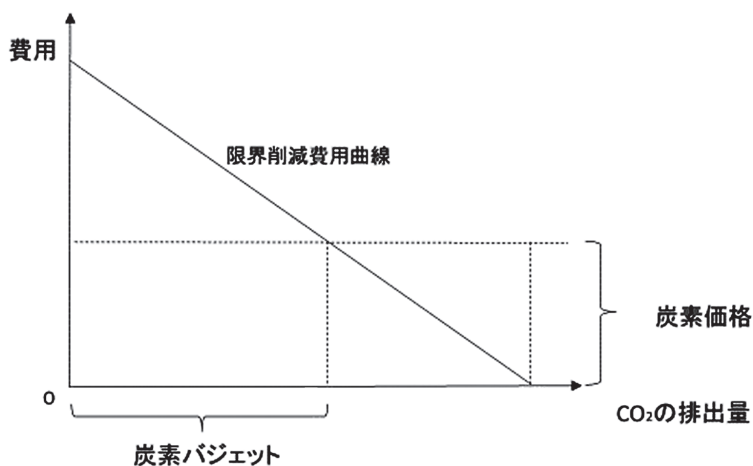
出所：筆者作成

A国、B国にとっては2℃戦略が支配戦略となるが、C社、D社にとっては4℃戦略が支配戦略となる。すなわち、A国、B国が企業の行動を変えるための政策を講じないと、4℃が実現してしまい、国の利益を損なうことになる。その政策こそが次のケースで検討する炭素価格の導入である。

5.2 各国が炭素価格を導入するとどうなるか

気候変動対策としては、外部負経済を内部化する炭素価格の導入が有望視されており、100か国以上の国が導入又は導入を予定している（World Bank et al. 2016）。炭素価格とは、炭素の排出に対して排出者が支払うことを意味し、その実施手段としては炭素税、排出量取引などがある。

図4は、世界のCO₂排出量とその限界削減費用を表したものである。



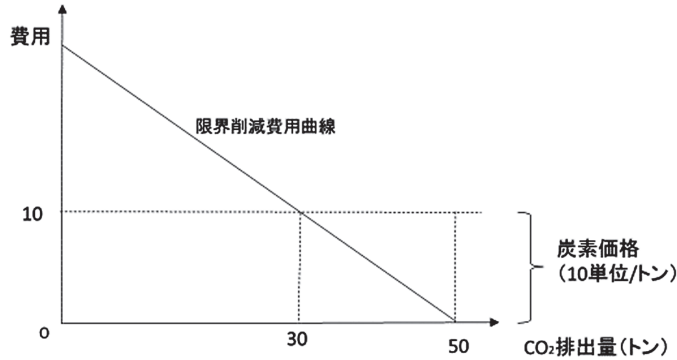
出所：筆者作成

図4 世界のCO₂排出量と限界削減費用との関係

パリ協定の目標を実現するためにはCO₂排出量を炭素バジェットの範囲内とする必要がある。このため、図4において、炭素バジェットの上限での限界排出削減費用に等しい炭素価格を導入すれば、炭素排出量の限界削減費用が低い手段から順番に実行し、炭素価格と同レベルとなるまで削減する経済的インセンティブが形成される。

次のケース5では、上記のような炭素価格として炭素税をA国とB国が導入するとしよう。A国にはC社、B国にはD社が存在し、C、D社は同じ規模と特徴を持つ企業であるとしよう。

気候変動に関するパリ協定の目標は達成できるのか？



出所：筆者作成

図5 C社、D社の限界削減費用曲線

図5は、C社とD社のCO₂の限界削減費用曲線である。両社は4℃戦略を選択すると排出量は50トンとし、炭素税はトン当たり10単位として、500単位の炭素税がかかるであろう。また、両社は2℃戦略を実行するためには100単位の費用がかかるが、それによって排出量が20トン減少するため200単位の税金を節約することができる。以上の結果両社の負担は(500 - 200) + 100 = 400単位となる。国の利得は、企業、税収、気候影響の利得の合計とする。

以上の条件で計算すると、A国とB国、C社とD社の利得行列は表8の通りとなる。

表8 ケース5：A国、B国が炭素税を導入した場合

		B国／D社	
		2℃戦略	4℃戦略
A国／C社	2℃戦略	2℃が実現	3℃が実現
		企業 (-400, -400)	企業 (-400, -500)
	税収 (300, 300)	税収 (300, 500)	
	気候影響 (0, 0)	気候影響 (-250, -250)	
		国 (-100, -100)	国 (-350, -250)
	4℃戦略	3℃が実現	4℃が実現
		企業 (-500, -400)	企業 (-500, -500)
	税収 (500, 300)	税収 (500, 500)	
	気候影響 (-250, -250)	気候影響 (-500, -500)	
		国 (-250, -350)	国 (-500, -500)

出所：筆者作成

炭素税が導入されるとA国、B国、C社、D社のいずれもが2℃戦略を選択することが支配戦略となる。

炭素税に替えて排出量取引を導入する場合には、カーボンバジェットの排出量を排出枠として2国（すなわち2社）に割り当て、各社はその排出枠内で納まるよう排出削減努力を行うが、この枠を超える排出量は他社から排出枠を購入することとなる（その時の取引価格は既述の炭素税額と同じとなる）。このことによって、炭素税と同じ結果を得ることができる。

以上のことから、各国政府が炭素価格を導入すれば、パリ協定の目標を達成することができる、と結論付けることができる。しかし、すべての国が炭素価格を導入することができるであろうか。

5.3 途上国が炭素価格を導入できない場合

途上国では、炭素価格を導入すると国内のエネルギー価格が上昇し、貧困層の生活に大きな負の影響を与えることからその導入が困難な場合があることが想定できる。

気候変動に対する責任と費用分担に関しては先進国と途上国の間では根深い対立がある。途上国は気候変動の責任は主に先進国にあること、途上国は気候変動対策の資金が不足することから、先進国に対し資金移転を求めている。では、先進国が途上国に資金援助することは気候変動問題の解決にはどのような影響を与えるであろうか？

この課題を検討するため、ケース6では、先進国であるA国は炭素税を導入するが、途上国であるB国が炭素税を導入しない場合の利得行列を検討する。その結果は表9の通りである。

表9 ケース6：炭素価格を先進国Aは導入し、途上国Bは導入しない場合

		途上国B / D社	
		2℃戦略	4℃戦略
先進国A / C社	2℃戦略	2℃が実現 企業 (-400, -100) 税収 (300, 0) 気候影響 (0, 0) 国 (-100, -100)	3℃が実現 企業 (-400, 0) 税収 (300, 0) 気候影響 (-250, -250) 国 (-350, -250)
	4℃戦略	3℃が実現 企業 (-500, -100) 税収 (500, 0) 気候影響 (-250, -250) 国 (-250, -350)	4℃が実現 企業 (-500, 0) 税収 (500, 0) 気候影響 (-500, -500) 国 (-500, -500)

出所：筆者作成

A国、B国、C社は2℃戦略が支配戦略となるが、D社は4℃戦略が支配戦略となり、その結果、世界は3℃が実現することとなる。

気候変動に関するパリ協定の目標は達成できるのか？

このような事態を回避するために次のケース7では、D社が2℃戦略を採用する場合にはA国がD社に対し十分な資金を援助するとしよう。D社が2℃戦略を実行する場合の費用が100単位なので、援助する資金はこれ以上でなければならないことから、 x (>100) 単位の資金を援助するとしよう。また、その資金源はA国の炭素税収入を充てることとする。この場合の利得行列は表10の通りとなる。

表10 ケース7：A国政府がD社に資金援助する場合

		B国／D社	
		2℃戦略	4℃戦略
A国／C社	2℃戦略	2℃が実現 企業 $(-400, -100+x)$ 税収 $(300-x, 0)$ 気候影響 $(0, 0)$ 国 $(-100-x, -100+x)$	3℃が実現 企業 $(-400, 0)$ 税収 $(300, 0)$ 気候影響 $(-250, -250)$ 国 $(-350, -250)$
	4℃戦略	3℃が実現 企業 $(-500, -100+x)$ 税収 $(500-x, 0)$ 気候影響 $(-250, -250)$ 国 $(-250-x, -350+x)$	4℃が実現 企業 $(-500, 0)$ 税収 $(500, 0)$ 気候影響 $(-500, -500)$ 国 $(-500, -500)$

出所：筆者作成

$-100-x > -350$ 、すなわち $x < 250$ であれば、先進国が途上国企業に資金援助を行えば、途上国の企業も2℃戦略を実行することが支配戦略となる。従って、先進国が途上国へ資金移転を行うことは、パリ協定の目標達成に有効であるといえる。なお、このケースでは、途上国への資金移転の原資として、先進国に導入した炭素価格による税収を当てている。先進国はこのような条件で途上国への資金移転を行ったとしても、2℃戦略を実行することが支配戦略となる。

5.4 1国がパリ協定から離脱する場合

さて、米国はトランプ政権の成立後、パリ協定から離脱することを表明した。米国の離脱はパリ協定の目標達成にどのような影響を与えるのか？ 米国の離脱は米国自身の利益になっているのか？

次のケース8では、世界はA国とB国で構成され、両国ともパリ協定に加盟したが、その後にB国がパリ協定から離脱することを検討しているとしよう。

A国はパリ協定の目標を達成するために炭素価格を導入し、離脱を検討しているB国は、離脱しない場合は炭素価格を導入し(2℃戦略を実行する)、離脱する場合は炭素価格を導入しない

(4℃戦略を実行する)と想定する。

以上の条件で利得行列を計算したところ、結果は表11の通りである。

表11 ケース8：B国がパリ協定から離脱する場合

		B国／D社	
		離脱しない (2℃戦略)	離脱する (4℃戦略)
A国／C社	2℃戦略	2℃が実現 企業 (-400, -400) 税収 (300, 300) 気候影響 (0, 0) 国 (-100, -100)	3℃が実現 企業 (-400, 0) 税収 (300, 0) 気候影響 (-250, -250) 国 (-350, -250)
	4℃戦略	3℃が実現 企業 (-500, -400) 税収 (500, 300) 気候影響 (-250, -250) 国 (-250, -350)	4℃が実現 企業 (-500, 0) 税収 (500, 0) 気候影響 (-500, -500) 国 (-500, -500)

出所：筆者作成

D社にとっては、B国がパリ協定から離脱するほうが利益が大きくなるが、B国としては離脱しないことが支配戦略となる。すなわち、B国の離脱は、D社のみが利益を得て、B国も世界も不利益を被ることになる。国が自国と世界の利益を犠牲にしてまで自国企業の利益を保護することは、国の公共政策としては望ましいものではないことは明らかである。米国がパリ協定に復帰することを期待したい。

6. おわりに

本研究では、企業と政府がパリ協定の目標を実現する2℃戦略を実行するかどうか、実行しない場合には、どのように条件を変えれば実行するようになるのか、という課題について戦略形ゲームを用いて分析した。

本研究の結果、気候変動による影響がCO₂を排出する企業には及ばないという前提であれば、企業はCO₂の排出削減に取り組まないことが企業の利益に合致した戦略となる。しかし、企業にもある程度の負の影響があると想定すれば、パリ協定の目標達成に自主的に取り組む可能性があるが、それは不確実である。機関投資家が化石資源を保有する企業を自主的にダイバストする動きはあるが、それだけではパリ協定の目標は達成できない。企業が2℃戦略を選択するよう各国が炭素価格を導入すれば世界がパリ協定の目標を達成することが期待できる。

気候変動に関するパリ協定の目標は達成できるのか？

しかし、途上国は国内の貧困対策との関係から炭素価格の導入が困難な場合がある。このような場合には、途上国企業がパリ協定の目標に貢献する排出削減策を実施できるよう、先進国政府が途上国企業に対して資金移転を行うことが有効な方法である。

また、1国のパリ協定から脱退は、当該国の企業にとっては利益となるが、当該国としても世界全体としても不利益となる。国が自国と世界の利益を犠牲にしてまで自国企業の利益を保護することは、国の公共政策としては望ましいものではない。米国がパリ協定に復帰することを期待したい。

本研究では、気候変動をテーマとして、世界には2国と2社が意思決定の主体として存在し、それらが選ぶ戦略が2つある、という極めて単純な戦略形ゲームによって分析し、その結果、炭素価格の導入、先進国と途上国との関係、米国のパリ協定からの離脱という政策的課題の解決方法について示唆のある結論を得ることができた。今後は、2国2社を多国多社に拡張していくこと、時間的な変化を考慮に入れること、戦略形ゲーム以外のゲーム理論の適用の可能性を検討することが研究課題であろう。

注釈

- 1) Carbon Tracker Initiative (2018) は炭素バジェットを「ある特定の気温の閾値以内で抑えるために一定期間中に排出できる CO₂ の累積量」と定義している。
- 2) 2017年時点での署名機関投資家数は827社（約100兆ドルの運用資産）、情報開示した排出企業は1,073社（世界のGHG排出量の12%相当）（CDP, 2017）である。現在は、CO₂だけでなく水と森林も情報開示のテーマとしている。
- 3) TCFD (2017) では、「控産資産」という用語は使わず、「既存資産の評価損、減損、早期の除却」と記述している。
- 4) The Guardian (2014)
- 5) Carbon Tracker Initiative (2011) pp.13-14.
- 6) The Statistics Portal (2018)
- 7) 戦略形ゲームとは、すべてのプレイヤーが、同時に行動するゲームである（渡辺、2008, p.10）。
- 8) 本研究では、理解しやすいために2℃戦略を実施するためのCO₂の削減費用を100単位と仮に置いたものであり、別の数値でも構わない。
- 9) Stern (2006) は、気候変動に対する対策費用は世界のGDPの1%が必要であり、気候変動の被害は世界のGDPの5～20%と試算されたことから、対策費用と比較して回避できる被害は5倍以上であることを示した。このため、本研究において200単位の費用をかけた対策によって1,000単位の被害が回避できると想定したことは被害を控えめに想定していると考えられる。
- 10) あるプレイヤーのある戦略が、他のプレイヤーのすべての戦略に対して、他のどんな戦略よりも高い利得を与えるとき、その戦略はそのプレイヤーの支配戦略と呼ばれる（渡辺、2008, p.22）。

参考文献

1. Ansar, A., Caldecott, B. L., & Tilbury, J. (2013). *Stranded assets and the fossil fuel divestment campaign: what does divestment mean for the valuation of fossil fuel assets?*
2. Carbon Tracker Initiative (2011). *Unburnable Carbon- Are the world's financial markets carrying a carbon bubble?*
3. Carbon Tracker Initiative (2018) *Carbon Budget Explainer*. https://www.carbontracker.org/wp-content/uploads/2018/02/Carbon-Budgets_Explained_02022018.pdf (2018年4月9日閲覧)
4. Caldecott, B., Howarth, N., & McSharry, P. (2013). *Stranded assets in agriculture: Protecting value from environment-related risks*.
5. Caldecott, B., E. Harnett, I. Kok, & A. Pfeiffer, (2016) *Stranded Assets: A Climate Risk Challenge*. Inter-American Development Bank.
6. Climate Analytics (2016) *Implications of the Paris Agreement for Coal Use in the Power Sector*
7. Fischer, D. (2015). *Divestment and Stranded Assets in the Low-carbon Transition*. In OECD Background Paper for the 32nd Round Table on Sustainable Development. OECD Paris.
8. The Guardian (2014) "Fossil fuel divestment: a brief history" on 8 Oct. 2014. <https://www.theguardian.com/environment/2014/oct/08/fossil-fuel-divestment-a-brief-history> (2018年3月29日閲覧)
9. Green, J., & Newman, P. (2017). Citizen utilities: The emerging power paradigm. *Energy Policy*, 105, 283-293.
10. International Energy Agency (2013) *Redefining the Energy-Climate Map*, World Energy Outlook Special Report.
11. McGlade, C., & Ekins, P. (2015). The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 C. *Nature*, 517 (7533), 187.
12. Stern, N. (2006). *Stern review report on the economics of climate change*.
13. The Statistics Portal (2018) *Ranking of the world's largest electric utilities in 2016, based on sales (in billion U.S. dollars)* <https://www.statista.com/statistics/274670/biggest-electric-utilities-in-the-world-based-on-sales/> (2018年3月13日閲覧)
14. World Bank, Ecofys & Vivid Economics. (2016). *State and Trends of Carbon Pricing 2016*, World Bank, Washington, DC.
15. CDP (2017) 『CDP 気候変動レポート 2017：日本版』
16. オックスフォード大学 (2016) 『日本における座礁資産と石炭火力—環境関連リスク・エクスポージャーの分析』
<http://www.smithschool.ox.ac.uk/research/sustainable-finance/publications/satc-japan-japanese.pdf>
(2018年2月19日閲覧)
17. 渡辺隆裕 (2008) 『ゲーム理論入門』日本経済新聞社