

(様式 5)

「秋田大学研究者海外派遣事業」帰国報告書

平成 25 年 12 月 26 日

所属・職名： 国際資源学教育研究センター・教授

氏名： 安達 毅

派遣期間： 2012 年 10 月 1 日 ~ 2013 年 3 月 31 日

派遣研究機関名： 英文 Graduate School of Business, Curtin University (Australia)

： 和文 カーティン大学 ビジネス研究科 (オーストラリア)

研究課題： 太陽電池材料確保における資源供給のリスク評価

○研究概要 (2000 字程度)

1. 緒言

近年、地球温暖化やエネルギー資源の価格高騰といった世界的問題を背景に、温室効果ガスを排出せずかつ再生可能エネルギーである太陽光発電は急速に普及してきている。しかしながら太陽電池材料には銀やインジウムといった貴金属やレアメタルが使用されており、今後の太陽電池需要の急増によっては材料側からの資源制約が生じる可能性も懸念されている。しかしながら、これまで鉱物資源におけるリスク評価の報告事例は数少なく、定量的で包括的なリスク分析が求められる。本研究では、別に行った太陽光発電の普及に伴う金属材料の需要予測モデルから、銀需要の大幅増加が見込まれることから、特に銀に着目して、太陽電池材料確保における資源の供給リスクの系統的に整理と総合的リスク評価を行った。

2. リスク評価方法

本研究では将来的に結晶シリコン系太陽電池の電極材料として大幅に需要が伸びると予測される銀に着目し、銀の供給リスク要因を価格ボラティリティ、可採年数、再資源化率、副産物比率、生産国集中度の 5 つに分類し、要因ごとに時系列での評価を行った。

価格ボラティリティは価格変動率の標準偏差を示す指標であり、価格の不安定度を示す指標である。可採年数は推定される埋蔵鉱量を年間生産量で除した指標で、資源ポテンシャルを定量的に示す指標として利用する。再資源化率は鉱山からの生産量とスクラップからの生産量の比を示し、二次供給量のポテンシャルを示す指標である。また、副産物比率は鉱山から産出される年間生産量のうち、他の金属の副産物として生産される量の比率を示す。これは、金属需要に対する供給の弾力性を示す指標として考えられる。生産国集中度は供給サイドの寡占度を示すため、Herfindahl-Hirschman 指標 (HHI) と呼ばれる市場寡占度の指標を適用する。

(様式 5)

評価の結果、近年、銀価格は上昇トレンドにあり、90年代と比較し約4倍近くまで高騰している。これに連動するように価格ボラティリティも上昇トレンドにあり、リスクが高まってきている。また、資源ポテンシャルは1997年に17年であった可採年数が2007年まで生産量増加に伴い減少傾向にあり、一時は13年にまで減少した。直近では埋蔵量が増加し23年まで回復したが、予測される需要拡大を考慮すると、リスクは高い状態にある。

再資源化率については近年減少傾向にある。また、副産物比率からは銀の約60%が副産物として生産されている現状が分かった。これは、需要拡大に対して、主産物の生産が伸びる保証はないため、供給制約の一因となる可能性があることが示唆されている。一方、銀の資源国の寡占度は、十分に競争的市場を示す結果となった。つまり銀の生産国集中度は小さく、その点におけるリスクは小さい。

3. カントリーリスクの算出方法

次に、資源確保に潜在するリスクを考えるには、供給国のカントリーリスクも考慮する必要がある。本研究では、資源開発に関するストライキや暴動といったイベントをリスクとして捉え、これらのイベントが生じた日数に応じた保険価格を算出し、リスク指標とした。

イベントに関して非負の離散型確率分布（計数確率過程）を考え、価格決定方法として均衡オプション価格決定方法の一つである Esscher 変換、式(1)を用いる。これはイベントに関する主観的な確率（P 測度）を、リスク中立的な確率（Q 測度）に変換する式で、 P はイベント生起確率、 E は期待値の演算子、 h はリスク回避度、 X は離散型の確率変数を表す。ここでイベントの発生1回あたりの約定保証金額を g_0 円、無リスク金利を r_f 、保証期間を T とすると、契約開始時点の保険価格は、満期に受け取る額面（リスク調整済）の期待現在価値 S_0 として求められる。ここではイベント発生確率をポアソン分布に従うモデルを考え、式(2)を用いた。

$$P^Q = \left(\frac{e^{hX}}{E^P[e^{hX}]} \right) P^P \quad (1)$$

$$S_0 = e^{-r_f T} g_0 (\lambda^Q T) \quad (2)$$

1999～2008年におけるイベント件数データより、銀の主要産出国のカントリーリスクを求めた結果を図1に示す。算出に用いたパラメータは $h=-0.1$ 、 $r_f=0.5$ 、 $g_0=100$ 、 $T=365$ [日]である。

最大の生産国であるペルーはオーストラリアに次いで高いリスクを示す結果となった。比較的産出量の多い、中国、ボリビアやロシアについては、イベントデータが欠如しているため、低めのリスクが算出されている点に注意が必要である。

(様式 5)

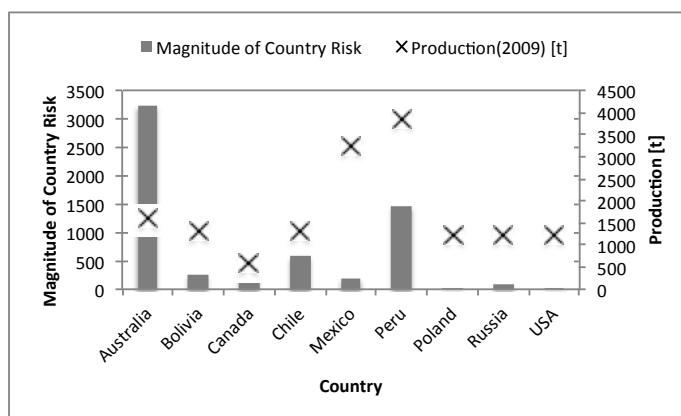


図1 カントリーリスクと生産量の関係

4. 結言

太陽光発電の将来普及に伴う需要予測によって銀の需要が大幅に拡大することが明らかになり、金属の供給制約が太陽光発電の普及にブレーキをかける可能性が示唆された。また、銀について系統的な供給リスクの評価を行ったところ、4つのファクターでリスクが高いことが明らかになった。さらに、主要算出国のカントリーリスクをイベント発生保証の保険金額として評価する手法を提案し、その結果、銀の主要産出国のリスクは高く、供給国は多様化しているものの供給リスク自体は高い状態にあるとの結論が得られた。

○研究期間全般にわたる感想

世界でもっとも美しい都市と呼ばれていたオーストラリアの西南海岸、インド洋に面する西オーストラリア州の州都パースは、かつての落ち着きを失いつつあるようだ。資源と資源に関連する仕事に関して人々が世界中から続々と集まってきている。人口はここ5年で20%も増え、180万人にふくれた。町のいたるところでビルの建設と道路の拡張工事、駅前の大規模再開発などが行われており、町の中で飛び交う言葉も、中国語、インドネシア語などアジア地域、スペイン語、ロシア語など英語以外の言葉を聞く機会が非常に多く、今まさに急成長のさなかにあることが実感されるエネルギーにあふれた町に変化してきている。

西オーストラリア州はオーストラリア全体の3分の1の面積、日本の約7倍の面積を有する。パースから車で北もしくは東の方向に出かければオーストラリア特有の広大で乾燥した土地を体験できる。特に北部の鉱山や海上油田から産出される鉄鉱石、石油、天然ガスの生産は世界でもトップクラスであり、日本にも多くの資源が輸出されている。その他、ニッケルや金、アルミニウム、レアアースなどの鉱物資源も豊富である。広大な面積にもかかわらず、同州内の都市部は限られており、ほとんどがパース近郊に集中しているため、パースに住居を構え航空機によって鉱山まで1~2週間で往復する、いわゆるフライイン・フライアウトによる勤務形態が一般化しつつあるのも特徴的である。パースの成長は近年の高価格による好景気が続く資源産業に大きく依存していると言えよう。

(様式 5)

私が今回滞在したカーティン大学(Curtin University)は、パースにメインキャンパスを持つ州内最大の総合大学で、約 40,000 人の学生が学ぶ。数年前までカーティン工科大学と呼ばれておりこちらの名前のほうが良く知られているかもしれないが、2010 年から名称が変更された。理工学、ビジネス、人文科学、健康科学の 4 学部からなり、そのうち資源に関する教育研究がなされているのが、西オーストラリア鉱山学科 (Curtin University's Western Australian School of Mines (WASM)) とビジネス研究科 (Curtin Graduate School of Business (CGSB)) である。WASM では資源工学・地球科学を、CGSB には鉱物・エネルギー経済学を教えるコースと教員が所属している。今回、CGSB の Daniel Packey 教授に客員教員として受け入れてもらい、海外研修が実現した。

カーティン大学のビジネススクールはオーストラリア全土の中でもトップクラスの実績があり、その中の一つのコースに鉱物・エネルギー経済学のコースがある。本コースは主に 10 日前後の集中講義から構成されており、資源経済の基礎から応用まで、これまでの文系・理系のバックグラウンドに合わせて学ぶことができる。大学院コースではトータルで 200 名もの学生が学んでいる。集中講義を学期内に連続して配置することで、長期の休暇を取れない社会人が受講しやすいように配慮されている。また、ネットによるオンライン講義も充実している。講義内容は日本に比べて非常に実践的なものが多く、これは実際に生産を行っている企業からの生のデータを用い、実際の操業に合わせた説明が行われている点がいへん特徴的である。これは、研究の面でも同様で、鉱山の実操業データを用いた研究や現場での実験など企業との綿密な連携のもと教育・研究が行われている。

オーストラリアでは企業からの出資を基に、Mining Education Australia (MEA) と呼ばれている共同の資源教育プログラムがありカーティン大学のほか、ニューサウスウェールズ大学、クイーンズランド大学、アデレード大学の 4 校で実施されている。これは、どの大学で受講しても同一のカリキュラムで同一のレベルの教育がなされることが保証されている点の特徴である。相互の遠隔講義システムにより、他大学の講義も受講できるようになっているなど、世界的にもレベルの高い資源教育がなされている。

オーストラリアでの資源熱はまだ続くように思われる。ただ、オーストラリア人は学部卒で就職する学生が多く、大学院以上の研究レベルでは留学生比率が非常に高くなっている。また教員も外国人もしくは外国出身の方が多い。常に世界に開かれ、外国人にとって魅力的であり続ける必要がある点に、日本とは異なった文化を感じることができた。

(様式 5)



パース市内のビジネス街と再開発地区



カーティン大学・ビジネス研究科



カーティン大学のメインキャンパス
(ベントレーキャンパス)



カルグーリーキャンパスの鉱物博物館
(カルグーリーキャンパスはパースから内陸部に向かい 600km 離れている。資源工学研究の中心キャンパス)