



# グリーン・エネルギーの 未来

Luc Eyraud、Benedict Clements

## 今、世界規模で進む 環境にやさしい 技術への投資

地球が現在直面する最も急を要する試練の一つが気候変動だ。その主要な原因は人間が化石燃料を消費することによる地球温暖化ガスの排出と土地の利用方法の変化だ。温暖化ガスの排出は地球規模の気温上昇とスモッグ、酸性雨を引き起こすとともに、公衆の健康を損ねている。一部の研究は、温暖化ガスの排出量が削減されなければ、人類にとって破滅的な結果につながり得ることを示唆している。(Stern、2007年)

しかし気候変動の影響は環境、健康面にとどまるものではない。温暖化や海面の上昇、天候の過酷化が生産や生産性に及ぼす広範な影響を考慮すれば、それが経済的にも重要な影響を及ぼす可能性は高い。さらに気候変動は、税収の減少と各種の公的対策により各国政府の財政状況も悪化させよう。これらの対策はなにより気候変動の影響を緩和す

ることや、新たな環境に生活や生産を適合させるための大きな支出を伴う政策が含まれるからだ(IMF 2008a、2008b)。この対策にかかる支出とリスクは、現在のエネルギー使用の形態が持続不能であることを指し示している。しかし、炭素系排出物の少ないエネルギー使用モデルへの移行には、いわゆる「グリーン・エネルギー」と呼ばれる代替エネルギー源の開発に向けた多額の投資が必要となる。

しかしこの「グリーン投資」の重要性が喧伝されているにもかかわらず、このリサーチは驚くほど乏しいのが現状だ。実際、この概念は比較的新しく、経済分野では厳密な定義がまだなされていない。それに加え、関連データが少なくさまざまな機関に散在している。小論ではこの欠落部分を埋めることを試みる。「グリーン投資」を定義し、その傾向と過去10年の先進国と新興国でのマクロ経済要因を分析する。

その結果は、グリーン経済の一層の推進を志向する政策担当者がよりどころとできる洞察を提供してくれるはずだ。

## グリーン投資

グリーン投資にはまだ定着した定義はない。これを小論では、温暖化ガスと大気汚染物質の排出を大幅に削減するために必要な投資、と定義する。ガス排出の削減方法は複数あるため、「グリーン投資」にもさまざまな形態がある。以下列挙する。

・ **エネルギー生産による汚染をより低くする投資** このグリーン投資は、エネルギー供給を化石燃料より汚染の低い代替燃料に移行することが柱だ。つまり発電源を風力、太陽光、原子力、水力などに変える投資と、直接の燃料として、トモロコシやサトウキビから作られるエタノールなどのバイオ燃料を開発する投資だ。このグリーン投資の概念は最近になって増えだした風力や太陽光発電などの環境技術だけでなく、原子力や水力による発電など既にほぼ確立された技術なども含む。化石燃料から作るエネルギーと低炭素排出の代替エネルギーとの区別を単純化するため、グリーン投資には原子力発電への投資も含めることとする。原子力発電については核廃棄物を排出することから、このグリーン投資支出には含めるべきでないとの意見が一部にある。しかし、ここでの定義がガス排出量への投資効果に置いているため、含めることとする。バイオ燃料投資もやはりここでのグリーン投資に含まれることとする。炭素排出への効果については異論があるが、再生可能エネルギー源であるため、この分析でいう「グリーン」の概念に該当する。

・ **エネルギー消費を削減する投資** グリーン投資にはモノやサービスを提供するために必要なエネルギー消費を削減する、つまりエネルギー効率を上げる投資も該当する。電力事業の分野では発電効率を上げる余地が残っている。燃焼させる石炭量が少ない非常に効率性の高い超臨界水型石炭火力発電プラントへの移行はその一例だ。送配電も同様で、例えばより効率的な送電網の採用などが上げられる。また輸送事業分野でも効率化できる可能性がある。より燃費の高い車やハイブリッド車を増やしたり、大量輸送機関の利用頻度を上げることだ。産業装置の分野では、エネルギーを節減する機械の使用や廃棄物管理を向上させることで効率化が図れる。建設事業分野では断熱材や冷房システムの向上が効率化につながる。

## 温暖化ガス燃料からグリーン代替燃料へ

原子力、及び太陽光、風力、水力などの再生可能エネルギー源を利用したグリーン技術は、発電で既に重要な役割を担っている。2008年には、世界の総電力のうち3分の1が原子力と再生可能エネルギー源で作られ、残る3分の2が「ブラウン」と呼ばれる従来の石炭、ガス、原油などで発電されていた(図1、左図参照)。この割合には長年にわたり大きな変動がなかった。しかし1990年代の後半からグリーン・エネルギーの分類の中で、原子力と水力による発電から他の再生可能エネルギー源による発電へのシフトが進んだ。これらの再生可能エネルギー源は近年の電力供給能力の拡大に大きく貢献している。2009年には供給能力の増大分のうち約3分の1をまかなっている(図1、右図参照)。

ここ10年は経済協力開発機構(OECD)加盟の先進、新興国を中心に再生可能エネルギーの生産と消費を奨励する多くの政策が採用された。このための何らかの政策目標を掲げたり、支援政策を実施する国は2005年初めには55カ国だったのが2010年初めには100カ国を

超えほぼ倍増した。

## 輸送事業でも効率化の可能性

この分野の支援計画は三つの主要目的がある。炭素排出削減による気候変動の防止、使用エネルギー源の多様化によるエネルギー安全保障の向上、加えて新産業分野での競争力向上、雇用創出、技術革新を促して成長を達成するということだ。

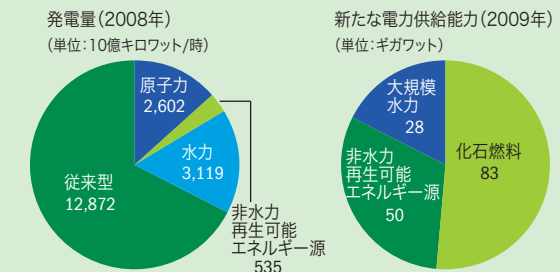
再生可能エネルギー源による発電に対する最も一般的な支援政策が2010年の早い段階で50カ国と25の州・地域で採用されている固定価格買い取り制度と、10カ国に加え46の州・地域でみられる再生可能エネルギー利用割合基準(RPS)の制度だ。固定価格買い取り制度は電力会社に、グリーン・エネルギーを使って作った電気を、その技術にかかったコストを反映した価格で、たとえそれが従来方法の発電コストを上回っていても買い取りを義務付ける制度だ。またRPS制度は電力会社に発電源の一定割合を再生可能エネルギー源で賄うことを義務付ける仕組みだ。

これらの公的支援政策のコストを推定するのは単純ではない。直接支出のみならず税控除、債務保証や数量割り当てなども含めなければいけないからだ。これまで公表された試算では、世界の公的支援政策のコストは年に400億ドルから600億ドルとされている。バイオ燃料に対する補助金が公的支出の大部分を占めている。

こうした公的支援政策の幾つかは世界金融危機への財政政策対応として、スケールアップされた。財政による景気刺激の一環として支出されたクリーン・エネルギーの補助は1,800億ドルから1,950億ドルに上ったとみられる。主に3カ国によるもので米国が650億ドル、中国が460億ドル、韓国が320億ドルである。グリーン・エネルギーの公的支援政策の規模が最も大きなグループでは、グリーン化のための支出が全体の刺激策の支出の15%を超えており、中でも韓国は刺激策の80%がグリーン投資に割り当てられた。しかし2009、2010の両年で割り当てられた予算のうち半分しか支出されていない。景気刺激目的のグリーン投資の執行は、公的資金を抛出するのに求められる複雑な計画と事務処理のために遅れている。それに加え、財政赤字が大きな国はグリーン投資の支出を削っている。

図1  
グリーン化するエネルギー

従来型のエネルギー源による発電が世界の総電力量の大半を占めるが、新たな電力供給能力において、再生可能エネルギー源が占める割合が高くなっている。



出所: 米国エネルギー情報局、ブルームバーグ・ニュー・エナジー・ファイナンス  
注: 従来型エネルギー源は主に石炭、原油、天然ガス。再生可能エネルギー源は風力、太陽光、水力、原子力を含む。ただ原子力は2009年に変化がなかったため新たな電力供給能力(右図)に含まれていない

## 再生可能エネルギー技術への投資ブーム

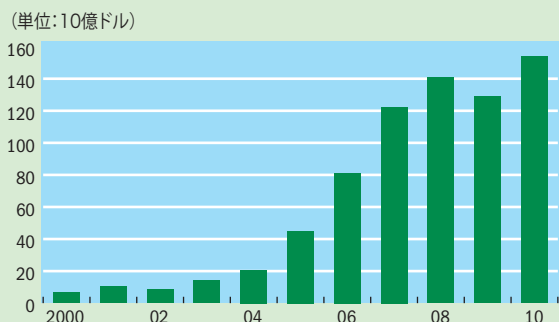
太陽光、風力、バイオ燃料、バイオマス、地熱など、水力発電を除いた再生可能エネルギーへの投資はここ10年間、とりわけ2004年以後著しく増加した。2000年から2010年にかけてグリーン投資は1年当たり70億ドルから1,540億ドルへ増えた(図2を参照)。増加要因は多々ある。世界全体の経済成長、化石燃料の高騰、技術革新、政策支援、消費者の環境浄化への要望の高まりなどだ。また、グリーン技術の採用コストも、その技術の使用がある一定量を上回ればより安くなる「規模の経済」原理が働き出すとともに、技術革新や低金利によって引き下げられた。再生可能エネルギーへの投資は2009年の世界的景気後退期に一時的に減少した。金融環境の悪化や化石燃料価格の下落で将来の需要が不透明になったことが原因だ。この落ち込みはより大きくなってもし思議ではなかったが、民間部門のグリーン投資の落ち込みは、刺激策の一環としてとられた促進策の支援で和らげられた。

再生可能エネルギーへのグリーン投資は今や世界的現象となっている。世界経済危機が発生するまでは世界全ての主要地域で着実に増加した。2004年から2010年にかけて、欧州と北米では投資額が4倍となる一方、アジアとオセアニアでは10倍に増えた。現時点では北米、欧州、アジアが3大市場であるが、近年では地域の構成比が劇的に変化し始めた。支出の先導役は、おおむね経済状況の違いを反映して欧州からアジアへ移った。世界のグリーン投資の欧州と北米が占める比率は2004年には68%あったのが2010年には46%に後退、アジアとオセアニアは28%から42%へ上昇した。

世界金融危機時にも中国がその大半を担う形でアジアのグリーン投資は急増し続けた。2009年に中国の再生可能エネルギーへの投資は世界一となり、翌年にはその投資額が欧州全体の投資額を上回った。一連の立法措置や国有銀行からの融資を含む金融面での支援策をとり、中国政府は国内での生産とエネルギー安全保障確保を目的に大規模な再生可能エネルギーの開発プロジェクトを後押しした。中国は今や太陽電池モジュールと風力発電装置の生産で世界のトップを走っている。また、関連の研究開発も加速させ、環境浄化技術の特許数や再生可能エネルギー部門での新規株式公開の会社数でもリードしている。

図2  
増える再生可能エネルギー源投資

再生可能エネルギー源に対する世界の投資額は、世界金融危機の最悪期を除き2000年代初頭より急速に増加している



出所:ブルームバーグ・ニュー・エナジー・アンド・ファイナンス

注:再生可能エネルギー源は太陽光、風力、バイオ燃料、バイオマスを含むが、水力は除いている。

## 原子力と水力発電の停滞

原子力による発電は1970年代と1980年代に世界的に急増したが、1986年の旧ソ連のチェルノブイリ原発の重大事故で原発への熱意は薄れた。その結果、原発の発電比率は1990年に約12%だったものが、2008年には8%へと低下した。2011年の東日本大震災、それに続く大津波による日本の原発事故が起こる前からもいくつかの難題が原子力発電産業の拡大を阻んでいた。原発の建設コストや熟練労働者不足、送電能力の不足や環境汚染への懸念、それに加え安全性と核拡散に対する不安だ。原発の発電能力の拡大では現在アジアが原動力となっている。欧州と北米で建設中の原子炉数は1980年に159基あったのが2010年には20基に減少した。対照的にアジアでは現在42基の原子炉が建設中だ。

水の落下するエネルギーを活用する水力発電は、電力を作る再生可能資源の中で最大のものだ。世界の水力発電は、他の発電設備と比べ建設コストが比較的安かったため着実に増加してきた。とはいえ、水力発電の全体に占める割合は1980年代初めの23%から2008年には19%に低下した。水力発電施設の建設に適した土地がほぼ利用され尽くしてしまっていた先進国を中心に、環境規制や技術革新の停滞が水力発電の拡大を遅らせた。ここ10年でみると、水力発電の能力の拡大はアジアが最も大きくて年平均12%伸びているのに対し、欧州と北米では1.5%にとどまっている。中国が最もめざましく、2004年から2009年の間に水力発電の能力がほぼ倍増した。

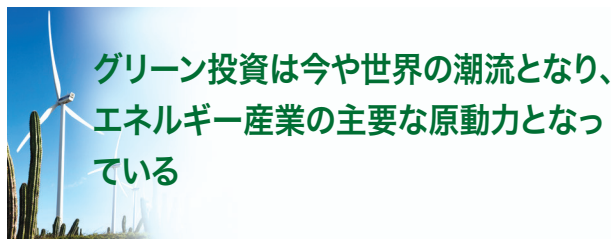
## グリーン投資をどう拡大させるか

気候変動に関するこれまでの経済学的な文献は、グリーン投資のマクロ経済的決定因子についての観察をおおむね怠ってきた。われわれはこの欠落部分を35の先進、新興国の2004年から2010年の再生可能エネルギー関連の投資を調べて埋め合わせる(Eyraud他、2011年)。世界のグリーン投資のほぼ全てはこの35カ国で行われている。

われわれはグリーン投資を左右する主要因を特定し、その影響度合いを評価するために統計学上の手法を採用した。多数のマクロ経済変数の有意性をテストしてみたところ、そのうち次の5変数がグリーン投資の規模を決定する上で有意であることが判明した。GDPと長期の実質金利、原油の国際相対価格、固定価格買い取り制度の導入をあらわす変数、ある国が炭素税やキャップアンドトレードシステムなど、炭素価格付け制度を持つかどうかを測る変数の5つだ。

以下がわれわれが見出した事実の一部だ。

・ **高水準のGDP はグリーン技術投資を拡大させる傾向。**経済活動はエネルギー自体とエネルギー産業への投資の需要を拡大させる。それに加え、高度に開発された社会では情報集約型の産業とサービ



スへの構造的変化、製造業の海外移転、環境意識の高まり、そして環境規制の執行が強化される。それらが環境関連支出を増大させ、環境劣化の緩やかな歯止めとなる。他の全ての条件が変わらなければ、経済成長が1%ポイント上昇すると、長期的にはグリーン投資を4%ポイント引き上げることが判明した。

・ **長期実質金利で代用測定した資本コストの上昇はグリーン投資にマイナスの効果。**この負の効果は大きいと推定される。実質金利が1%ポイント上昇するとグリーン投資は約10%の減少となる。一般のビジネス関連の投資を調査したところ、投資額は金利動向に比較的影響されないとの結果だった。しかし、グリーン投資は金利動向に非常に敏感に反応するようだ。この結果は記述的調査研究で既によく指摘されているが、別に驚くことではないだろう。再生可能エネルギーのプロジェクトは労働力より資本を多用する上、大半を外部からの調達資金に頼るからだ。

・ **原油価格上昇もグリーン投資には大きなプラス効果。**当然のことながら原油価格の上昇はグリーン投資からの収益を向上させることになる。再生可能エネルギー源で生産される電力のコストが、化石燃料の燃焼による電力生産のコストとの対比で低下するからだ。われわれの試算では、原油価格の上昇率が一般物価のインフレ率より1%ポイント上回ると、グリーン投資の増加率が1%ポイント上昇する。

・ **再生可能エネルギー利用割合基準(RPS)とバイオ燃料の義務化はグリーン投資には効果がない模様。**バイオ燃料については、家畜飼料価格の上昇と生産能力の過剰が原因で2007年からバイオ燃料への投資が大幅に減少した事実とおそらく関連している。対照的に固定価格買い取り制度はグリーン投資に強い正の影響を持っている。この結果は同買い取り制度が、再生可能エネルギーの拡大を支援する最も重要な制度の一つであるとの見方を裏付けるものだ。われわれの推計では、他の条件を全て一定とすると、固定価格買い取り制度を採用した国ではグリーン投資額が2、3倍になるとみられる。また、燃料の炭素含有量に基づく環境税の課税など、炭素価格付け制度も、どんな形態にしろやはり有意性を持つ効果が認められた。

全体としてみると、試算結果はグリーン投資が、政策によって大きく増減することを示している。金利水準や、経済成長などのマクロ経済要因はもちろん、エネルギー政策も同様に影響する。グリーン投資は、原油価格の上昇により、従来の化石燃料を使用した技術によるエネルギーと対比して、グリーン・エネルギーの方が安くなった時に増加する。政策によっても大きく影響される。グリーン投資を支援する公的介入も有効だ。統計学上の試算結果は、固定価格買い取り制度と炭素価格

付け制度は、グリーン投資を促進する傾向を持つことを示唆している。一方でバイオ燃料の支援など多くの政策が、この投資に効力を発揮しない可能性も明らかになった。この結果は、バイオ燃料補助金の有効性とその補助金の食料供給への悪影響に関する懸念を増大させるものだ。(IMF、2008c参照)

## グリーン投資の将来は

グリーン投資は世界的潮流となり、エネルギー産業の主要な原動力となっている。同時に、この投資の世界の地域別構成も近年は著しく変化した。中国にけん引されるアジアはその重要性を増している。中国は2009年に再生可能エネルギーへの投資額が世界一となり、2010年のその投資額は欧州全体の合計額を上回った。調査結果により、グリーン投資の促進に国ができることが多くあることも確認された。グリーン技術がより多用される経済を目指す上で、化石燃料製品と炭素排出の適正な価格付け制度も含んだ、代替エネルギーへの投資を促す適切な奨励策を講じることが、とりわけ重要であることが分かった。■

Luc EyraudはIMF財政局のエコノミスト、Benedict Clementsは同局のディビジョンチーフである。

## 参考文献

Eyraud, Luc, Abdoul Wane, Changchang Zhang, and Benedict Clements, 2011, "Who's Going Green and Why? Trends and Determinants of Green Investment," IMF Working Paper 11/296 (Washington: International Monetary Fund).

International Monetary Fund (IMF), 2008a, "Climate Change and the Global Economy," World Economic Outlook, Chapter 4 (Washington, April).

——, 2008b, "The Fiscal Implications of Climate Change" (Washington, March). [www.imf.org/external/np/pp/eng/2008/022208.pdf](http://www.imf.org/external/np/pp/eng/2008/022208.pdf)

——, 2008c, "Fuel and Food Price Subsidies—Issues and Reform Options" (Washington, September). [www.imf.org/external/np/pp/eng/2008/090808a.pdf](http://www.imf.org/external/np/pp/eng/2008/090808a.pdf)

Stern, Nicholas, 2007, The Economics of Climate Change: The Stern Review (London: Cambridge University Press).