

## 特集

# 「IPCC 第4次評価報告書」を読む —科学者からの警告— 第3作業部会「気候変動の緩和」

根本潤哉 (CASA 会員)

IPCC 第4次評価報告書第3作業部会は、2007年5月4日に、2001年の第3次報告書発表後の新たな文献をもとに、気候変動の緩和のための科学的、技術的、環境的、経済的、社会的側面を評価する報告書を発表しました。

CASAでは2007年7月7日に、この第3作業部会報告書の内容に関する学習会を開催しました。報告者は国立環境研究所循環型社会廃棄物研究センターの橋本征二氏と、立命館大学国際関係学部の大島堅一氏です。橋本氏は執筆者として、大島氏は査読者として今回の報告書作成に関わっています。橋本氏は第3作業部会の概要について、大島氏は第3作業部会報告書の第4章で取り上げられているエネルギー供給について報告されました。

本稿では、7月7日の学習会での報告をもとに、この第3作業部会報告書の内容を紹介します。

## 1、IPCC とは

IPCC (気候変動に関する政府間パネル) とは、1988年にWMO(世界気象機関)とUNEP (国連環境計画) によって設立された国連組織です。気候変動に関する最新の科学的、技術的、社会経済的情報を、包括的、客観的、透明に評価することを目的としています。IPCCには3つの作

業部会が設置されており、それぞれで役割を分担しています。第1作業部会は気候システムや気候変動の科学を、第2作業部会は気候変動の環境や社会経済への影響と適応を、第3作業部会は気候変動を緩和するための対応策をそれぞれ扱っています。IPCCが評価する情報は査読付論文がベースとなっており、その評価は政策に

表1. 安定化シナリオの特徴

政策決定者向要訳 暫定版仮訳(5.14版)

IPCC AR4 WGIII

表SPM.5 : TAR以降の安定化シナリオの特徴 [表TS 2, 3.10]<sup>37</sup>

カテゴリ	放射強制力	二酸化炭素濃度 <sup>39</sup>	温室効果ガス濃度(二酸化炭素換算) <sup>39</sup>	気候感度の“最良の推定値”を用いた産業革命からの全球平均気温上昇 <sup>38,39</sup>	二酸化炭素排出がピークを迎える年 <sup>40</sup>	2050年における二酸化炭素排出量(2000年比) <sup>40</sup>	研究されたシナリオの数
	W/m <sup>2</sup>	ppm	ppm	°C	西暦	%	
I	2.5-3.0	350-400	445- 490	2.0-2.4	2000-2015	-85 ~ -50	6
II	3.0-3.5	400-440	490- 535	2.4-2.8	2000-2020	-60 ~ -30	18
III	3.5-4.0	440-485	535- 590	2.8-3.2	2010-2030	-30 ~ +5	21
IV	4.0-5.0	485-570	590- 710	3.2-4.0	2020-2060	+10 ~ +60	118
V	5.0-6.0	570-660	710- 855	4.0-4.9	2050-2080	+25 ~ +85	9
VI	6.0-7.5	660-790	855-1130	4.9-6.1	2060-2090	+90 ~ +140	5
総計							177

関連している必要がありますが、政策を規定するものであってはならないとされています。この姿勢を謳ったABCDという原則があります。AはAssessment, not option (評価であり、意見ではない)、BはBalanced, not biased, (バランスのとれたものであり、偏り(バイアス)があつてはならない)、CはComprehensive, but concise (包括的であるが簡潔に) DはDirected at policy questions (政策上の問いに向かつて)となっています。特に第3作業部会は対策の話になり、政策にかなり近い議論になるため、執筆に慎重さが求められるとのことでした。

今回のテーマは第3作業部会ですが、第3作業部会には世界から代表執筆者168名、執筆協力者85名、査読者485名が関わりました。日本からも大学、研究所、民間、省庁などから多くの人間がその作成に貢献しました。

## 2、温室効果ガス排出量の動向

温室効果ガス排出量は1970年から2004年の間に70%増加しました。その中でも大きな割合を占める二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)は1970年から2004年の間に約80%増加したとされています。1970年から2004年の間に、世界のエネルギー原単位は33%低下しましたが、世界の所得は77%増加し、世界の人口も69%増加しました。エネルギー原単位の低下というCO<sub>2</sub>排出量を削減させる影響は、所得と人口の増加というCO<sub>2</sub>排出量を増加させる要因による影響にかき消された形となっています。そして今後数十年温室効果ガスの排出量は増加すると予測されています。

気温の上昇度のあるレベル以下に抑えるにはCO<sub>2</sub>濃度をどの程度で安定化させればよいのか、また濃度のあるレベルで安定化させるには排出量がどの時期にピークを迎えればよいのか、この問いに答えるためにいくつかのシナリオが存在します。安定化レベルが低ければ低いほど排出量のピークと減少が起きる時期を早くする必

要があります。例えば、産業革命前からの全球気温上昇を2.0～2.4℃に抑えるには、CO<sub>2</sub>濃度を350～400ppmで安定化させる必要があります、そのためには排出量のピークが2000～2015年の間に来なければなりません。(表1)

ピークとともに重要なのは排出量の削減です。CO<sub>2</sub>濃度を低いレベルで安定化させようとするればするほど大幅な排出量の削減が求められます。第4次評価報告書は、2030年を目安に設定し削減がどの程度可能かを解き明かそうとしています。それによるとボトムアップ(個別部門のポテンシャルの積み上げ)の研究でもトップダウン(世界の経済モデルを作って削減ポテンシャルを推計)の研究でも、今後数十年にわたって世界の温室効果ガスの排出量を相当量削減できる経済的ポテンシャルがあるという結論を得ています。ただし単一の分野、技術だけで大幅な排出削減を達成することはできないと述べられています。すなわち、排出削減を実現するには、様々な分野が複合的な技術を用いて対処する必要があるということです。

## 3、各部門の対策

エネルギー供給については、途上国、工業国それぞれに対策を適切に行うことで温室効果ガスの削減に寄与し、さらに例えば大気汚染の軽減や雇用などのような便益も得られるとされています。エネルギー供給に関しては、エネルギー設備および他の基盤資本の寿命が長いという特徴があります。そのため、将来への投資決定が温室効果ガスの排出量に長期的な影響を及ぼす、低炭素技術の広範な普及には時間がかかる、ということが言えます。

輸送と輸送インフラについては、様々な排出削減対策があるが、その効果は需要の増加によって相殺される可能性があると言指しています。様々な排出削減策とは、技術の向上による燃費向上だけではなく、公共交通システムへの

シフトや土地利用計画と交通計画の統合といったことも挙げられます。ただこれらの削減策によって原単位が改善しても、その改善度合いを越えるほど需要が増加してしまえば結局温室効果ガスの排出量は増えてしまいます。

居住／商業分野では、建築物におけるエネルギーの効率化が、CO<sub>2</sub>排出量を大幅に削減する可能性があるとしています。エネルギー効率化の方法として、例えば省エネ機器の導入や断熱の改良などが考えられます。ただ技術の利用可能性や資金調達、政策やプログラムの障壁が実現を困難にしているとされています。

産業部門では、排出削減ポテンシャルは主に鉄鋼やセメント、製紙、化学などのエネルギー集約型産業に存在しています。先進国、途上国ともに古い非効率な施設が依然として多く残されており、利用可能な対策技術が十分に利用されていないという現状があります。

農業・林業部門では、低コストで大きな削減効果を得ることができると指摘されています。さらにその対策は、農業、林業それぞれの持続可能性を確保する上でも重要です。

廃棄物管理は、世界の温室効果ガス排出量に対する寄与は小さいものの、低コストで温室効果ガスの排出削減に貢献できます。また持続可能な発展を促進する効果もあります。しかし、途上国や経済移行国においては資金不足が制約となっているようです。

#### 4、対策に伴う便益

温室効果ガスの排出削減努力をすることで、様々な便益も生まれます。まず挙げられるのは大気汚染の削減です。化石燃料が燃焼する際二酸化炭素の他に大気汚染物質も放出されますが、低炭素への取組を進めることで、大気汚染物質の削減にも寄与します。

エネルギー安全保障の面では、自然エネルギーという国産エネルギーの開発や省エネルギーの進展は、化石燃料の地域偏在という特徴を考えるとエネルギー安全保障の観点から非常に重要な取組と言えます。

また、農業部門や林業部門での対策は、自然生態系の保全にもつながります。

表2. 現在もしくは今後数十年の間に商業化されることが期待される技術

部 門	対 策
エネルギー供給部門	石炭からガスへの燃料転換、再生可能エネルギー（水力、太陽熱、太陽光、風力、地熱、バイオマス）、コージェネレーションなど
運輸部門	電気自動車、ハイブリッド車、クリーンなディーゼル車、バイオ燃料の利用、鉄道などの公共交通システムへのモーダルシフト、自転車や徒歩、都市計画による交通量の削減など
建築部門	断熱性の改善、証明への太陽光の取り入れ、高効率な家電製品、厨房器具、ノンフロンの冷蔵庫や冷房設備など
産業部門	熱および電力の回収、材料の再利用と代替、CO <sub>2</sub> 以外のガス排出量の制御など
農業部門	耕作地及び放牧地の土地の管理方法の改善、土壌の回復、家畜及びたい肥の管理方法の改善、稲作技法の改善、エネルギー効率の改善など
林業・森林部門	新規植林、再植林、森林管理、森林減少の削減、木材製品の管理、木質バイオエネルギーの活用など
廃棄物部門	埋立地メタンの回収、焼却エネルギーの回収、有機廃棄物のたい肥化、廃棄量の抑制など

表3. すでにその環境効果がいくつかの国で立証されている対策

部門	対策
エネルギー供給	化石燃料への助成金の削減、炭素税、再生可能エネルギーの買取補償制度、生産者への助成金など
運輸	強制的な燃費基準、バイオマス燃料、車の購入などへの課税、公共交通機関の整備など
建築物	省エネラベル、需要管理、公共部門での需要プログラム、エスコ事業など
産業	基準情報の提供、性能基準、助成金、排出量取引、自主協定など
農業	土地管理改善、効率化と改善に対するインセンティブなど
林業	森林の拡大、伐採の減少、森林の保全など
廃棄物管理	管理改善への資金インセンティブ、廃棄物管理など

## 5、政策・措置・手法

温室効果ガスの排出を削減するために、各国政府が取りうる国内の政策・措置・手法は数多くあります。気候政策と開発政策の統合、規制・基準、経済的手法（税金・課徴金、排出量取引、補助金・税金控除）、自主協定、情報手法、技術開発／普及などです。これらの手法を各セクターに有効に適用していくことが重要です。

報告書は、平均気温の上昇を産業革命以前から2℃～2.4℃に抑制することは、現在利用可能な技術や今後数十年の間に商業化されることが期待される技術で可能だとし、具体的には表2のような技術や対策をあげています。また、すでにその環境効果がいくつかの国で実証されているものとして表3のようなもの技術や対策をあげています。

ただし、いずれの手法においても、利点と欠点が存在します。そしていずれの手法においても、それをよりよいものとするには、改善のためのモニタリングが重要となってきます。

炭素価格が設定される政策に関しては、生産者や消費者に対して、温室効果ガスの排出が少ない製品や技術、プロセスに多額の投資を促す可能性があります。そして効果的な炭素価格のシグナルは、全ての分野において大きな排出削減を達成する可能性があります。

技術政策に関しては、技術の効果的な開発、革新、普及において、政府の支援策が重要です。政府の支援策としては、資金供与、税控除、基準、市場の創設などが挙げられます。技術の開発および普及による公共の便益は、民間が獲得できる便益よりも大きいと見られ、政府が支援することの正当性があります。

## 6、国際的な取組

気候変動枠組条約と京都議定書は、気候問題への世界的な対応枠組みの構築、多くの国内政策の促進、国際的な炭素市場の創設、および将来の排出削減努力の基礎となりうる新しい制度メカニズムの設立という点において功績があったと第4次評価報告書は評価しています。しかし、京都議定書第一約束期間(2008～2012年)の目標が達成されたとしても、世界全体の排出量への影響は限定的なものになると見られています。

報告書では成功する国際協定について言及していますが、その条件は、環境上の効果があり、費用効果が高く、配分に配慮し、衡平性を組み込み、制度的に実施可能であることです。協調して排出削減に取り組めば、一定の排出削減を達成するための世界のコスト削減に役立つか、あるいは環境効果を高めるとし、国際的な協調した取組の意義を強調しています。

## 7、エネルギー消費の現状と今後の予測

世界のエネルギー消費は増え続けており、1972年から2004年の32年間で約2倍になっています。年間伸び率は1972年～1990年が2.4%、1990年～2004年が1.4%と、伸びは鈍化していますが消費が増え続けていることに変わりはありません。

石油および石炭は最も重要な1次エネルギーで、石炭のシェアは2000年以降大幅に増大しています。これは途上国での使用が増えているためです。

石油、天然ガスは政治的に不安定な地域に偏在しています。このことが再生可能エネルギー利用増大の要因になっています。

世界の年間排出量は、1990年が20Gt - CO<sub>2</sub>、2005年が26Gt - CO<sub>2</sub>と年率1.5%で増加しています。ただし増加率は地域ごとに大きな差があります。EUはドイツ、イギリス、スウェーデンの削減により、安定化を達成しています。それに対し、他のOECD諸国の排出量は20%も増加しています。アジアに到っては104%の増加と、驚くべき割合で排出量が増加しています。

将来のエネルギー需要は2050年までに40～150%増加すると見られています。それに伴い、CO<sub>2</sub>の排出量も48～55GtCO<sub>2</sub>/年にまで増加すると予測されています。

## 8、各エネルギーの評価

まず化石燃料全般を見ていきます。第4次評価報告書は、化石燃料は依然として豊富であると評価しています。つまり、第4次評価報告書で目安としている2030年や2050年には化石燃料がまだ枯渇せず存在し続けているが故に、対策を取らなくてもよいということにはならないのです。化石燃料は2004年の世界エネルギー需要の80%を満たしています。化石燃料は経済的に優位であるため、低炭素エネルギー促進政策が

無ければ今後20～30年は増大すると指摘されています。

では個別の化石燃料を見ていきましょう。

石炭は偏在していますが、最も豊富な化石資源で地域によっては最も利用されています。2005年では、世界のエネルギー供給の25%を占めています。そして2030年までに石炭需要が倍加すると見られています。

天然ガスは世界のエネルギー供給の21%を占めています。この天然ガスは1970年代以降シェアを伸ばしています。

石油は世界のエネルギー供給の37%を占めています。生産の3分の2が中東および北アメリカと、地域的に偏在しています。現在は新資源の発見等が生産量を上回っている状態ですが、オイルピークの議論も存在しています。石油の埋蔵量に関して、第4次評価報告書ではいつの時点でピークになるかについては論争があるとし、明確な数量は示していません。

原子力は、2005年には世界の電力の16%を占めています。ただし1次エネルギーで見ると7%に過ぎません。第4次報告書は、原子力に関しては放射線暴露や核廃棄物処理について言及し、発電所事故ないし使用済核燃料輸送中の放射線漏れのリスクについては論争があるとしています。低/中レベル放射性廃棄物処理のための貯蔵施設はあるが、高レベル放射性廃棄物の貯蔵施設はまだ存在していません。また、原子力の特異性として、核兵器との関係で、ウラン濃縮、使用済燃料処理、プルトニウム分離は核兵器拡散への重大なステップとなると指摘しています。

再生可能エネルギーについては、その特徴として、地域的に分散していることが挙げられ、エネルギー安全保障と環境保護に貢献するとされています。ただコストが普及を制約しており、非水力再生可能エネルギーは現在のところ利用が少ない状況となっています。政策的介入が無ければ、今後数十年は著しくシェアが増加しな

いと見られ、普及させるためには政府による支援が必要であり、普及促進のための政策手段は数多く存在するとされています。

再生可能エネルギーのなかでも大規模水力は世界の電力供給の16%を占めていますが、開発地域ではマイナスの社会的、環境的影響があることが指摘されています。小規模水力、マイクロ水力は、全水力の9%を占めると推計されています。こうした小水力発電は、世界に潜在的な利用可能な資源が膨大にあるのに、多くが利用されていないという現状が指摘されています。

風力は、2004年末では世界の電力供給の0.5%を占めるに過ぎませんが、技術ポテンシャルは相当あり、設備利用率を20%としても2030年の電力需要予測の5倍に相当する発電が可能とのことです。風力は進展が著しく、設備容量は1991年の2.3GWから2005年の59.3GWへ急増し、一基あたりの容量もこの25年で50kWから5MWへと増大しました。デンマークでは総電力の18.5%を供給するまでになっています。この風力には発電量が変動するという特徴があり、風力のシェア拡大の制限になっています。ただ、バックアップに必要な費用は劇的に下がってきています。

バイオマスについては、世界の1次エネルギー供給の10%以上を占めると推計されています。しかし、この3分の2が発展途上国における伝統的利用の形態という形をとっています。この伝統的バイオマス利用は、今後徐々に他のエネルギー源に変わると言われています。

地熱の熱や温水の直接利用の歴史は長く、また、設備利用率が高いため地熱発電はベースロード発電に向いています。ただし地域によって発電コストが異なるとされています。

太陽熱は低緯度地域に向いており、世界の砂漠の1%を使って発電し、これを送電すれば世界の電力需要を満たせるという試算もあります。太陽光発電は途上国の無電化地域ではすでに競争力を持っています。ただ太陽光の発電

量は世界全体の0.004%を占めるに過ぎません。太陽光発電は、2030年までに既存設置量の10倍くらいの技術ポテンシャルが存在するとされています。

第4次報告書は、火力発電所などからCO<sub>2</sub>を回収して、大気に排出されないよう隔離する炭素回収・貯留技術（CCS: Carbon dioxide capture and storage）についても記述しています。CCSには、海洋貯留と地下貯留があります。海洋貯留は永久にCO<sub>2</sub>を貯留することはできないとしているのに対し、地下貯留は適切な地質学的貯蔵庫に注入するならば永久的に貯留できると評価しています。このCCSの果たす役割は研究によって異なっています。まだまだ研究が必要な技術であり、コストの面で考えても実用化には時間がかかる技術と言えそうです。

## おわりに

この第3作業部会の報告書から言えることは、技術によってエネルギー効率が改善しても、需要が増えることによってその効果が打ち消されてしまうということです。そして単一の分野や技術だけで、大幅な排出削減を達成することはできないと述べています。さらに気温上昇幅を低く抑えるには早期に排出ピークを迎える必要があるとも述べています。第1、第2作業部会の報告書も踏まえるならば、気候変動の影響を最小にするには、できるだけ早期に、技術開発だけに依存することなく政策やライフスタイルの転換も含めた、ありとあらゆる分野での対策が求められるという結論が導き出せると思います。

また今回の報告書では、原子力やCCSといった賛否の大きく分かれる技術に対する評価が行われました。IPCCの報告書はあくまで評価報告書なので、政策を規定するものではあってはならず、あくまで長所や短所、特徴に関する評価を行ったに過ぎません。この評価をどのようにとらえるかということが、私たちに投げかけられた課題だと思います。