

2009.4.08

BIWEEKLY

1042

NEDO 海外レポート

I. テーマ特集 地球温暖化特集

1. CO ₂ 回収・貯留(CCS)関連の政策および技術動向(世界)(第1回 概要)	1
2. 米国政府による「メタン市場化パートナーシップ」	8
3. 米国東部の州レベルでの排出量取引制度	20
4. カーボンフットプリント表示に関する最新の規制(フランス)	26
5. EPA は初の全国規模の温室効果ガス排出報告システムを提案(米国)	29
6. NASA 炭素観測衛星運用ミッション(米国)	31
7. 極地観測による地球温暖化対策のための基礎研究(ドイツ)	36
8. 地中海の海面上昇に関する予測(EU)	42
9. インターネットによる生態系変異予測の可能性(スウェーデン・英国)	44
10. 気候変動の緩和には土壌の役割が重要(欧州)	47
11. スウェーデンの地球温暖化対策の現状	50
12. CO ₂ 削減に向けた国際鉄道連合(UIC)の主張(欧州)	55

II. 個別特集

水素関連インフラの整備状況(欧州)	59
安定で持続可能なエネルギーの未来のための新しい科学(米国)(第4回)	67

III. 一般記事

1. エネルギー	
オバマ大統領が次世代電力自動車に対し 24 億ドルの助成を発表(米国)	73
2. 産業技術	
3次元構造の微小な多細胞組織を作る新技術(米国)	74
電子増倍による太陽電池性能向上の可能性を確認(米国)	79
ナノエレクトロニクスのための原子サイズのワンストップ・ショップを開発(米国)	82

URL : <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/>

《本誌の一層の充実のため、掲載ご希望のテーマ、ご意見、ご要望など下記宛お寄せ下さい。》
NEDO 技術開発機構 研究評価広報部 E-mail : g-nkr@nedo.go.jp Tel.044-520-5150 Fax.044-520-5162
NEDO 技術開発機構は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構の略称です。

【地球温暖化特集】 CO₂回収・貯留(CCS)

CO₂回収・貯留(CCS)関連の政策および技術動向(世界)

(第1回 概要)

目次

1. CCS 技術の概要
 - 1.1 回収
 - 1.2 貯留
 - 1.3 輸送
 - 1.4 技術の現状と実現の可能性
2. CO₂回収・貯留に関する地球規模での政策

1. CCS 技術の概要

二酸化炭素(CO₂)回収・貯留(Carbon capture and storage : CCS)とは、大気中に放出される CO₂ を回収して、輸送し、長期的に貯留する技術である。回収、輸送、貯留という CCS の 3 つの主要プロセスでは、さまざまな技術が利用される。これらの技術について詳しく説明する。

1.1 回収

CO₂ を回収する際には、その他のガス状排出物から分離して、高濃度の CO₂ を入手する必要がある。純度の高い CO₂ を得るために、次のような技術プロセスが開発されている。

- 燃焼前回収(pre-combustion)
- 燃焼後回収(post-combustion)
- 酸素燃料による燃焼からの回収(oxy-fuel combustion)

今日の技術では、発電所から排出される CO₂ の 85～95%を回収することが可能である。しかし、これらの技術では、CO₂ を回収すること自体にもエネルギーが必要とされる。CO₂ 回収技術の導入された発電所では、そうでない発電所よりも消費エネルギーが 10～40%多くなる。この問題を考慮に入れると、CCS 技術の導入によって実現される CO₂ 排出量の削減能力は 80～90%程度となる。

燃焼前回収

石炭ガス化炉から排出された合成ガスが燃焼タービン内の空気と混合される前に、CO₂ の回収を行う^{注1}。この方法を使った場合、高圧下で、比較的純粋なCO₂を回収することが

^{注1} IGCC(Integrated coal Gasification Combined Cycle : 石炭ガス化複合発電)において、石炭ガス化炉では、

可能である。

回収コストを削減するために、現在、分離膜と溶媒の開発が進められている。これらの技術は、気体を選択的に透過させて CO₂ を分離する物理的手法と化学的手法に利用される。水素ガス(H₂)をうまく分離することができれば、燃料電池にも利用できるため、発電所全体のエネルギー効率が大きく向上する。

ガス化炉技術の改良も、燃焼前回収のコスト削減につながる。合成ガスに含まれる CO₂ は燃焼後の排ガスに含まれるものよりもはるかに濃度が高い状態にあるため、燃焼前に CO₂ を回収する方が、燃焼後に回収するよりもコストを低く抑えることができる。しかし燃焼前回収設備の資本コストを引き下げるために、さらなる研究が必要とされている。

燃焼後回収

燃焼排ガスを冷却して CO₂ 吸収剤に通し、排出物の中から CO₂ だけを分離する。ガス流に含まれる CO₂(体積で 3～15%程度まで)は、液体溶剤を使って回収することができる。この方法は有機溶媒と CO₂ の化学反応を利用するものであり、まず、燃焼排ガスに含まれる CO₂ を、30%以下に希釈されたモノエタノールアミン(MEA)水溶液などの溶媒に吸収させる。次に、CO₂ を吸収した溶媒を加熱することによって、逆反応を起こさせる。その結果、高純度の CO₂ が放出され、液体溶媒(吸着剤)も再生される。現在、CO₂ の回収に適した新しい溶媒の改良、発見、試験の取り組みが進められている。また、溶媒(吸着剤)を繰り返し利用することにより CO₂ の回収能力が低下するという問題についても、さらに研究が進められている。そのほか、僅かに残る SO₂ や Hg などの不純物も問題となる可能性がある。

CO₂ の回収技術には、生石灰(酸化カルシウム、CaO)と CO₂ の化学反応を使う方法もある^{注2}。この場合も、焼成と炭酸化を何度も行うことにより反応性が低下することから、生石灰が繰り返し CO₂ を吸収する能力に対する研究が進められている。この方法には、安価な天然の石灰石を利用できるという利点があるが、大規模プラントへの適用を実現するには、さらに研究が必要である。

①水蒸気によるガス化反応により合成ガスとして一酸化炭素(CO)と水素(H₂)の可燃性ガスが発生するが、さらに②水性ガスシフト反応(水蒸気との反応)を経ると CO₂ と水素になる。この場合発電用のガスタービンの燃料になるのは H₂ であり、残った CO₂ を回収するのがここで言う「燃焼前回収」である。

①石炭のガス化反応 $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$

②水性ガスシフト反応 $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$

NEDO 海外レポート 1018 号「炭素隔離式の石炭火力 FutureGen の最新状況(米国)」1 ページの図参照 (<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1018/1018-03.pdf>)。

^{注2} 生石灰と CO₂ が反応すると石灰石となり、石灰石を高温で加熱(焼成)すると、生石灰と CO₂ に分解される。これらの化学反応は何度も繰り返すことができる。

酸素燃料による燃焼からの回収

空気の代わりに酸素の中で燃料を燃やす方式。CO₂の一定割合は再循環して、炎の温度を制御するために燃焼室へ注入される。冷却されることによって、排ガスに含まれる水蒸気が液化し、非常に純度の高いCO₂が残る。

1.2 貯留

技術的に地中へ貯留可能だと考えられているCO₂の量は、地球全体を合わせると 2,000ギガトン^{注3}以上にのぼる。気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)^{注4}の推定によれば、地中には数百万年にわたる貯留が可能であり、注入されたCO₂の99%が1,000年以上の間保持される可能性が高いという。それらのCO₂が岩に含まれる鉱物と反応したり、分解されることによって、貯留がより確かなものになると期待されている。海洋貯留の場合には、注入されたCO₂のうち65~100%程度が100年間、30~85%程度（注入場所の深さによって異なる）が500年間にわたり保持されると推定されている。また、鉱物と反応して炭酸化したCO₂は、恒久的に貯留される。

地中貯留（地中隔離）

地中隔離では、地下の貯留層に超臨界CO₂^{注5}が注入される。このような地中への貯留が可能な場所には、油田やガス田、採掘不可能な炭層、含塩層、マグネシウムを多量に含む玄武岩層などがある。CO₂の地表へ漏洩を防ぐために、物理的な方法や地球化学的な方法が利用されている。

地中貯留は、現在検討されている貯留技術の中でも、優先度の高いものである。環境リスクが低いこと、大量かつ長期的な貯留が見込めること、石油や天然ガスと併用できる技術として有効性が証明されていることなどがその理由である。

海洋貯留

海洋貯留への取り組みとして、次のような技術が開発されている。

- 水深1,000m以上の海中へCO₂を放出し、溶解希釈させる。
- 水深1,000m以上の海底にCO₂を直接堆積させる。このような深海ではCO₂の密度が水の密度よりも高くなるため、CO₂の溶解速度を遅らせることができる。
- CO₂を重炭酸塩に変換する。
- 海底にもともと存在するクラスレート・ハイドレート^{注6}の中にCO₂を貯留する、

^{注3} gigaton. 10 億トン。

^{注4} <http://www.ipcc.ch/>

^{注5} 液体はその物質特有の温度（沸点）で沸騰し、気体となる。圧力を上げると沸点も高くなるが、温度を上昇させていくと圧力を上げていてもはや液体として存在できなくなる点（臨界点）に達する。臨界点を越えた物質は「超臨界流体」と呼ばれ、通常の気体や液体とは異なる性質を示すようになる。CO₂の場合は、温度31.1℃、圧力7.48MPa（メガパスカル）を超えると超臨界CO₂となる。

^{注6} 水素結合による水分子の籠（かご）状構造の中に別の物質の分子が包み込まれた構造を持つ水和物で、「包

あるいはより大きな膜を形成させる。

CO₂の海への貯留は、環境に悪影響を及ぼす可能性がある。CO₂を海中に溶解させても、将来的には大気と平衡状態になる可能性があるため、この方法は恒久的な解決策とはならない。また、CO₂と水(H₂O)が反応して海の酸性化が進めば、海洋生物が被害を受けたり、死滅する事態が起きる。

海洋へのCO₂貯留方法には、このほか、作物残渣で俵を作り、重りを付けて深海へ沈めるといったものもある。これらの俵はすぐに沈泥の中に埋まり、長期間にわたって炭素を隔離することができるという。

鉱物による貯留

金属酸化物がCO₂と反応すると、発熱し、炭酸塩が形成される。天然鉱物の中には、マグネシウム(Mg)やカルシウム(Ca)を含むものが豊富にある。CO₂は酸化マグネシウムや酸化カルシウムなどの金属酸化物と化学的に反応し、環境に害を与えない安定した炭酸塩となる。CO₂は、このような炭酸塩の中に恒久的に閉じこめられる。

1.3 輸送

CO₂の大規模発生源は、多くの場合、地中貯留サイトに成りうる場所のすぐ上や、そのような場所から300km以内の範囲にある。発電所で回収されたCO₂の主な輸送手段には、次の4つのものがある。

陸上パイプライン

陸上パイプラインは、すでに利用されている輸送手段である。十分にテストされた天然ガスのパイプラインとよく似た設備を使って、100～150気圧の高圧で超臨界状態に圧縮されたCO₂を輸送する。圧縮に伴いCO₂の温度が上昇するため、輸送前に冷却する必要がある。

海底パイプライン

海底パイプラインもまた、すでに利用されている輸送手段である。天然ガスのパイプラインを使って、水深2,000m以上の深さでの運用が可能であることが確認されている。

船舶輸送

液化CO₂の輸送手段として、小型船を使った方法がすでに利用されている。この輸送手段では、液化石油ガス(LPG)の輸送手段と同様の技術が使われる。

接水和物」、「クラスレート水和物」などとも呼ばれる。深海底に液体CO₂を貯留すると、海水との界面にCO₂クラスレート・ハイドレートが形成され、膜状にCO₂を覆う。

鉄道およびタンクローリーによる輸送

鉄道やタンクローリーは、飲料用 CO₂ の輸送手段としてはすでに利用されているが、大規模輸送の手段としては適していないと考えられている。コストがかかることと、温室効果ガスの発生源になることが、その理由である。

1.4 技術の現状と実現の可能性

CO₂ の分離など、CCS で利用できる技術のいくつかは、アンモニア製造工場やガス処理プラントなどですでに導入されている。しかし、貯留目的で CO₂ の分離が行われている例は、まだ少ない。多くの場合、ガス流から CO₂ を分離する目的は、ほかの工業用ガスの純度を高めることにあり、分離された CO₂ は大気中に放出されている。また、燃焼排出ガスの中から、商業用に使う CO₂ を必要な量だけ取り出すために、回収技術が利用されている場合もある。

現時点で回収・貯留技術の導入に適しているといえるのは、CO₂ の大規模排出源のみである。今の段階では、CO₂ の排出量取引^{注7}を利用する方が、回収・貯留を導入するよりも安価である。国連気候変動枠組み条約(United Nations Framework Convention on Climate Change : UNFCCC)では、世界全体で、大気中の温室効果ガス濃度を、危険な気候変動を回避できるレベルに安定させることを目指している。UNFCCCの京都議定書では、2008～2012 年の期間を対象に、先進国におけるCO₂削減目標が定められている。CCSは、世界のエネルギー供給において、石炭が依然として主要な役割を果たしていくことを可能にする技術である。

次のような国は、特に CCS の導入に適しているといえる。

- CO₂ 排出量が多い（回収に適している）。
- 貯留サイトに成りうる場所がある。
- 油田やガス田がある。
- 温室効果ガス削減目標を達成するために CO₂ の問題に取り組む必要がある。

CCS の効率を向上させるため、各国は、試験設備や実証設備、またガス分離用の膜材料の研究開発などに対して投資を行っている。

2. CO₂ 回収・貯留に関する地球規模での政策

IPCCによる「CCSに関する特別報告書(Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage)^{注8}」には、気候変動に関する科学的証拠がまとめられている。この報告書は

^{注7} 企業などが CO₂ の排出量をアローワンス（排出割当の枠）やクレジット（京都メカニズムに定める排出権）などの形で取得し、それを売買できる制度。

^{注8} http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf

30 カ国以上の 100 人を超える科学者によって執筆され、専門家や政府関係者によるピアレビュー（評価プロセス）を経て作成された。CO₂の回収と輸送、海洋・鉱物・地中への貯留、および工業プロセスへの適用などに関連した技術の概要が述べられており、主な調査結果として、次のような内容が記されている。

- CO₂の貯留方法の中で、地中貯留がもっとも優先度の高い方法である。
- 地中貯留は健康・安全性・環境リスクの低い貯留方法であり、時間が経過するにつれて、これらのリスクは更に低くなる。
- 地中に貯留された CO₂の 99%が 1,000 年以上の間保持される可能性が高い。（100 年以上保持される可能性は「非常に高い(very likely)。」）
- CCS にかかるコストのうちもっとも大きな割合を占めるのは、回収技術関連のコストであるが、これらのコストは今後 10 年間で 20～30%削減できる可能性がある。
- 大規模な地中貯留システムを実現するには、潜在的なリスクや、サイト選定の基準、監視・検証プロセスなどを明確にするための、より一層の研究が必要である。

また同報告書では、政策面では CCS 技術と同技術による温室効果ガスの削減効果に対する社会的な認識の高まりが必要であることを指摘するとともに、大規模 CCS システムを実現する前に規制の枠組みを整備する必要があるということも指摘している。CO₂の長期的貯留に関する法的枠組み、あるいは規制の枠組みを特別に構築している国はほとんどない。ただし、石油や天然ガスの操業、汚染、廃棄物、飲料水、高圧ガス、地下資源の所有権などに関する既存の規制の中には、CCS に対しても適用できる可能性のあるものが存在する。

CCS関連の情報を提供し、多国間の連携を推進する地球規模での取り組みのひとつに、国際エネルギー機関(International Energy Agency : IEA)の共同研究プログラム「温室効果ガス研究開発プログラム(Greenhouse Gas R&D Programme : GHG)^{注9}」がある。同プログラムでは、研究対象・開発対象・実証対象の特定を手助けすることを目的のひとつとし、Webサイト「Carbon Dioxide Capture and Storage^{注10}」でCCS関連の情報を提供している。同サイトのデータベースでは、世界各国で現在実施されているプロジェクトと、既に終了したプロジェクトを検索することができる^{注11}。これらのプロジェクトには、たとえば、商用のCO₂回収プロジェクトや、回収技術の研究開発プロジェクト、地中貯留の実証・研究開発プロジェクト、深海貯留の研究開発プロジェクトなどがある。

温室効果ガス技術・共同研究センター(Cooperative Research Centre for Greenhouse

注9 <http://www.ieagreen.org.uk/>

注10 <http://www.co2captureandstorage.info/>

注11 <http://www.co2captureandstorage.info/search.php>

Gas Technologies : CO2CRC)^{注12}のWebサイトには、現在、世界中で実施されているCO₂関連の実証プロジェクトの地図が掲載されている^{注13}。

現在進められている CCS プロジェクトのうち、代表的な 3 つの事例を以下に紹介する。

スライプナー(Sleipner)プロジェクト

(場所：ノルウェー領北海、事業主体：スタットオイル社^{注14})

ノルウェー領北海にあるスライプナー天然ガス田から、海底下約 1,000m にある塩性帯水層に CO₂を注入するプロジェクト。1996 年 10 月に開始され、これまでに 1,000 万トン以上の CO₂がウトシラ(Utsira)層と呼ばれる砂岩層に注入された。2008 年に実施された調査の結果、表面への漏洩はなく、岩石中に CO₂が安定的に分散していることが確認された。これまでに CO₂が貯留された面積は、貯留可能な全面積 26,000km²のうちの約 3km²だという。また、坑口圧の調査においても、貯留に適した安定した結果が示された。

ワイバーン(Weyburn)プロジェクト (場所：カナダ)

カナダのワイバーン油田で実施されている石油回収プロジェクトであり、石油の生産量を増加するために一日に 1,000 トンの CO₂が油田に圧入されている。2000 年に開始され、これまで表面あるいは表面付近への CO₂の漏洩はない。

インサラー(In Salah)プロジェクト

(場所：アルジェリア領中央サハラ、事業主体：BP、ソナトラック社^{注15}、スタットオイル社)

アルジェリア南部の中央サハラ地域にあるインサラー天然ガス田で実施されている、CO₂を砂岩帯水層へ再圧入するプロジェクト。ガス田で生産されたガスから CO₂を分離して、地下 1,800m の帯水層へ注入している。2004 年 4 月に開始され、毎年最大で 120 万トンの CO₂が貯留されている。

(次号へ続く)

編集：NEDO 研究評価広報部、翻訳：桑原 未知子

(出典：SRI Consulting Business Intelligence Explorer Program)

注12 <http://www.co2crc.com.au/>

注13 <http://www.co2crc.com.au/demo/worldprojects.html>

注14 Statoil. ノルウェーの国営石油会社。

注15 Sonatrach. アルジェリアの国営石油会社。

【地球温暖化特集】 メタン削減 途上国支援

米国政府による「メタン市場化パートナーシップ」 ー農業・炭坑・ゴミ埋立地の主要排出源に係わる取組みを中心にー

メタンは、二酸化炭素(CO₂) の20倍以上の温室効果を持つ温室効果ガス(GHG)であり、世界の温室効果ガス(GHG)排出量の16%を占め、CO₂に次ぐ影響力を持っている。また、メタンの排出量のうち6割は人類の諸行動により生み出されている。

世界のメタン排出を削減するために米国連邦政府が主導する「メタン市場化パートナーシップ」は2008年11月、その取組の状況を取りまとめた3回目の「年次報告書」を発表した。NEDO海外レポートでは「地球温暖化特集」として、この報告書の概要を紹介する。なお、本稿ではレポートの総論と、各論としての農業、炭坑およびゴミ埋立地における取組について取り上げる。

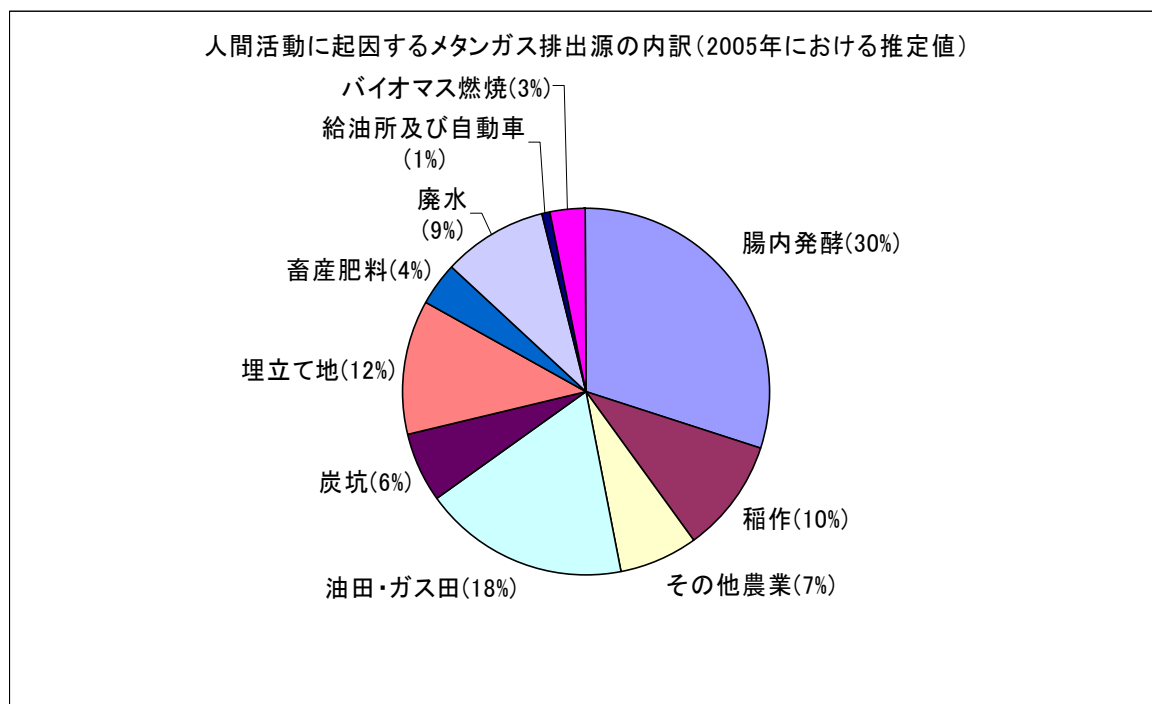
目次

1. 概況：「メタン市場化パートナーシップ」とは
2. 農業分野におけるメタンガス市場化プロジェクト
 - 2-1. 東南アジアにおける畜産廃棄物管理の改善
 - 2-2. 中国・インドのプロジェクト
 - 2-3. メキシコにおける模範プロジェクトの拡大
3. 炭坑分野におけるメタンガス市場化プロジェクト
 - 3-1. CMM 技術実証プロジェクトへの支援（中国・メキシコ）
 - 3-2. プロジェクト能力強化及び情報障壁の克服（中国・インド）
 - 3-3. 炭坑の安全性向上にもつながる政策的インセンティブ（ウクライナ）
 - 3-4. ロシア・東欧における財政的障壁の克服
4. ゴミ埋立地におけるメタンガス市場化プロジェクト
 - 4-1. LFG 市場化プロジェクト博覧会及びセミナーの共催
 - 4-2. 埋立地運営担当者へのトレーニング（ウクライナ）
 - 4-3. プレフィージビリティ及びアセスメント調査（ブラジル・韓国・インド）
 - 4-4. ゴミ処分場の設計と一体化した取組みをめざして
5. 今後の展開

1. 概況：「メタン市場化パートナーシップ」とは

2004年、米国は他の13ヵ国と共に、メタンガス排出削減への世界的な関心に応えるべく、「メタン市場化パートナーシップ」と称する取組みを開始した。メタン市場化パートナーシップは、メタンガスをクリーンなエネルギー源として回収かつ実用化する事によって、官民がそれぞれの関心事項として取り組む地球温暖化への対策を一本化する多国間の

取り組みである。この取り組みは、農業、炭坑、埋立地及び石油・天然ガス供給システムという4つの主なメタンガス排出源について、具体的なプロジェクトを展開する事を目的としている。



出所：EPA 報告「1990 から 2020 年までの人間活動に起因する CO₂ 以外の温室効果ガスの排出」：
(No.430-R-06-003)

しかしながら、メタンの削減は技術的に十分可能かつ費用対効果に優れ、さらに大気中に占める割合の大きさから環境面においてもメリットがあるにも関わらず、メタンの回収及び実用化は各地に広がっていない。多くの国では、財政金融や制度面、あるいは情報や法的側面等の障壁が、プロジェクトの展開を妨げている。

メタン市場化パートナーシップの仕組みとその原点

メタン市場化パートナーシップは、米国国内におけるメタンガス排出削減プログラムの現場をモデルに生み出された。1993 年より、EPA(Environmental Protection Agency：米国連邦環境保護局)は米国内にて合計 4 つの官民合同の排出削減プロジェクトを運営してきた^{注1}。2005 年までに、これらのプロジェクトは、米国のメタンガス年間排出量を 1990 年の水準から 11%削減するのに役立った。

^{注1} AgSTAR、CMOP(Coal bed Methane Outreach Program：鉱床メタンガス応用計画)、LMOP(Landfill Methane Outreach Program：埋立て地メタンガス応用計画)、Natural gas STAR の 4 つ。

「プロジェクトネットワーク」：国際プロジェクトの開発への専門的知見の提供

メタン市場化パートナーシップの関係国は、メタンガスの排出削減を追求している各国政府が、該当するプロジェクトの開発に必要な不可欠な世界中の利害関係者の知識や経験及び資源を活用出来るようにするために、各分野の専門家で構成されたプロジェクトネットワークを築き上げた^{注2}。2004 年以来、800 名以上がそのメンバーに加わっている^{注3}。

克服されるべき課題とその処方箋

本パートナーシップにおいて現在、全てのプロジェクトにわたる最も重大な課題の一つは、情報及び技術上の障壁を克服する事に他ならない。

それに対する処方箋として有効な道具として、“Project Tracking Database”(プロジェクト追跡データベース)^{注4}や“International Landfill Database”(国際埋立地データベース)^{注5}、及び“International Coal Mine Methane Project Database”(国際炭坑メタンガスプロジェクトデータベース)^{注6}や“Coal Mine Methane Technology Database”(炭坑メタンガス関連技術データベース)^{注7}、さらに“ON TIME”^{注8}が開発されている。

メタンガス排出削減に関する米国政府のリーダーシップ

メタン市場化パートナーシップを支援すべく、米国は今後 5 年間で 5,300 万ドルに上る資金援助を約束した。それらは、途上国や市場経済移行期にある国においてメタンガスに係わるプロジェクトの開発及び実行を推進するために用いられる。

2007 会計年度における米国政府による本パートナーシップへの資金援助は、1,020 万ドルであり、これにより、発足以来の本パートナーシップへの米政府による財政支援の総額は、2,850 万米ドルとなった。米当局は、これらの運営資源を 12 以上の関係する国や地域に配分する。それらプロジェクトが全て軌道に乗った場合、2008 年の一年間で CO₂ 換算で推定 2,400 万トン以上のメタンガス排出量が削減される。これは、2006 年に取り掛かれたプロジェクトから得られた結果のほぼ 3 倍の量に相当する。さらに、米国政府は、本パートナーシップは 10 年以内に、CO₂ 換算で年間 1 億 8,000 万トン以上のメタンガス排出量の削減をもたらす、とみている。

^{注2} 構成分布は、民間企業人が 69%、NGO(非政府組織)関係者が 14%、研究者が 10%、等となっている。

^{注3} その他、本パートナーシップの構成国が 14 から 27 カ国に増え、当初は無かった農業分野における取り組みが追加された。また、140 以上ものメタンガス排出削減プロジェクトの開発を追跡し、13 カ国において行事を催した。さらに、2007 年、北京において初めての本パートナーシップに関わる展覧会を開催した。

^{注4} 展開中の 100 以上、及び計画中の 40 以上のプロジェクトに関する情報を保有している。

^{注5} 2007 年に立ち上げられ、世界中の 250 以上の埋立て処分場から送られて来る情報を蓄積する。

^{注6} 13 カ国において進行中あるいは開発中、もしくは計画段階の 215 以上の炭坑メタンガス回収・実用化プロジェクトに関する情報を保有している。

^{注7} 豪州政府によって開発され、メタンガス燃焼処理関連やパイプラインあるいは都市ガス管から排出されるメタンガスの精製、もしくは熱を通しての酸化あるいは触媒の酸化を通しての通気メタンガス(Ventilation Air Methane : VAM)の縮減及びその実用化、あるいは一旦希釈されたメタンガスの濃縮やメタンガスの測定監視に関連する様々な技術情報(一部事例研究の含む)を蓄積している。

^{注8} カナダ政府が開発した、石油及びガス供給部門におけるメタンガス排出を縮減するための、費用対効果に優れた技術や運用についての情報を提供する新たなオンラインツール。

2. 農業分野におけるメタンガス市場化プロジェクト

世界的に、農業分野におけるメタンガス排出源として、家畜の腸内発酵や稲作、または畜産由来肥料が挙げられる。メタン市場化^{注9}パートナーシップの農業に関する諸活動は、現状では畜産の過程そのものや家畜の排泄物からのメタンガス排出を対象を絞っているものの、パートナーシップの運営委員会の下に設置された農業小委員会は、他のメタンガス排出源への対象範囲拡大の可能性を探っている。メタンガスは家畜体内における嫌気性^{注10}発酵の過程で生成され排出されるので、家畜の排泄物は、嫌気性発酵技術を通したメタンガス回収によって、クリーンなエネルギーとして用いることが可能となり、結果として、大気への排出が抑制される。

2005 年、世界において、本来は嫌気性発酵技術を通してガスの回収が可能な畜産由来肥料から排出されるメタンガスの全体量は、CO₂に換算して 2 億 3,000 万トン若干上回る量と推計された。2008 年度において、米国政府は排出されたメタンガスの市場化に係わる諸活動への支援に、メタン市場化パートナーシップを通じて 1,500 万ドル以上の金額を費やしたが、その目的は、メタンガス回収と、畜産肥料管理の現場におけるメタンガスの活用を後押しする為に他ならない。



写真 1：湖水が嫌気性発酵装置を経た潟湖(メキシコミチョアカン州ラピエダッド市内サンタモニカ農場の潟湖)：潟湖は密閉式家畜舎での畜産の際、厩肥の安定化处理^{注11}及び一時的貯蔵に用いられる。

2-1. 東南アジアにおける畜産廃棄物管理の改善

EPA 及び世界銀行は、2004 年より東南アジアにおける畜産排泄物管理プロジェクトを支援している。世銀は中国・タイ・ベトナムの各国において汚染を抑制する適当な手法を開発するために 2,100 万ドルを、EPA はこれらの手法を用いた管理プロジェクトを実行するのに必要な技術援助を、それぞれ供与した。今日までに、メタンガス回収システムは 2 つが実働中かつ 6 つが建造中であり、更におおよそ 100 以上が現在計画中の段階にある。各プロジェクトには、養豚で発生する廃棄物を浄化し、その中からエネルギー源として用いるメタンを回収するよう設計されたシステムが組み込まれている。なお、大規模なガス回収システムには、発電用途でエンジン駆動発電機が実装され、さらに発電不能な際に稼働する予備のフレアを配置している。これにより、より小規模な農家や農村は、主として

^{注9} 市場経済のメカニズムに組み込み、対象物に市場交換が可能な価値を持たせる事。

^{注10} 無酸素状態のこと。

^{注11} 化学反応の抑制を通じて、物質の保存性を高める工程。

調理用の燃料として用いるバイオガスを生産する。こうしたプロジェクトは、CO₂換算で 50 万 m³相当ものメタンガス排出削減を達成することが見込まれている。

タイは、官民一体となってバンコク付近の 3 州にある養豚場からメタンガスの排出を減らすべく、EPA と協働している。世界銀行内の地球環境ファシリティ (Global Environment Facility : GEF)^{注12}事や及びタイ政府の農業・農業協同組合省畜産振興局^{注13}及びエネルギー省エネルギー政策・エネルギー計画庁^{注14}からの援助を元に、合計して 20 万頭近くの豚を飼育している 12 の養豚場が、廃棄物処理を、剥き出しのラグーンによる形から(写真 1 : 前ページ)、電力を生み出す嫌気性発酵システムを取り入れた形式へと移行した。EPAからの技術援助によって市場化プロジェクトに携わる技術者達は、本プロジェクトがメタンガス排出をCO₂換算で 9 万トン以上削減すると予測している。参加している農家は、市場化プロジェクトがメタンガスを地域のエネルギー源として、また乾燥した発酵汚泥を作物の肥料として用いることによって、利益を享受する。

2-2. 中国・インドのプロジェクト

EPAは、改良された（それ一つによって村全体の用が足りる）大型消化装置の利用と、農村地域における技術訓練の双方を拡大するための数多くの試みについて、中国国務院農業部^{注15}と連携を行っている。

メタンガスの回収に関する市場評価は、畜産及び農業関連産業廃棄物処理の業界によるガスの活用の可能性に関する評価と共に中国南部にて実施に至った。同時に、中規模および大規模農家では、模範プロジェクトも引き続き行われる予定となっている。類似の試みは、ベトナム・フィリピン・タイ・韓国でも実施が予定されている。

インドにおいて、EPA は乳製品製造業界に嫌気性消化(発酵)装置の設置を推進している。設置の促進は、消化装置の可能性に関する市場調査への支援、商用化が成り立つ事が実証されかつ一般的に入手可能な価格の技術の識別、絞られた特定対象からの模範プロジェクトの実施、公開講座を含む教育の機会の設置、しかるべき嫌気性消化(発酵)装置テクノロジーの採用を促す政策の実行を通じて行われた。過去においてそれらの取組みは、規模としては小さな回収と実用化の実施（調理用燃料の使用分をオフセットする）及び、乳製品製造販売業務（必要な電力を創出するために、業務の際に排出されるメタンガスが利用可能な事から）の双方に焦点を合わせていたが、2007 年になって、EPA とインド政府の相

^{注12} 世銀・国連開発計画(UNDP)・国連環境計画(UNEP)の 3 機関によって共同運営される、世界銀行内に設置された信託基金。

詳しくは、<http://www.gefweb.org/> (事務局サイト : 英語)

http://www.mofa.go.jp/Mofaj/gaiko/kankyo/kikan/gbl_env.html (日本外務省ウェブサイト内 GEF に関するページ : 日本語)を参照。

^{注13} 公式サイト(英語版) : www.dld.go.th/webenglish/admin2.html

^{注14} 公式サイト(英語版) : www.eppo.go.th

^{注15} 日本における農水省 (国務院は内閣) に相当。

手部署は、蒸留酒及びワイン業界から出る廃棄物を含めるべく、協働範囲を拡大するに至っている。

2-3. メキシコにおける模範プロジェクトの拡大

場所の如何を問わず、大規模な農耕作によって生じる大量の家畜排泄物が潟湖にて処理されるなか、メキシコにおいても、肥料の貯蔵の際に限らず、家畜排泄物が水面に直接排出される事例が存在していた。EPA と USAID (U.S. U.S. Agency for International Development: 米国国際開発庁) は、東南アジアに導入されたのと同じの畜産排泄物管理システムによるメタンガス回収と実用化を普及させるべく、メキシコ国内の至る所にて共に活動している。EPA と USAID との協働は、技術移転の子細と模範プロジェクトの実行、また現地企業の新たな排泄物管理システムへの対応能力の増強、あるいはメタン回収に従事する産業を育成し水面部分の水質汚染を削減する政策に関して行われている。

一例を挙げると、EPA は過去 2 年間にわたって様々な養豚農家にて、習熟度や手腕を向上させる事を目的としたメキシコ国内におけるメタンガス回収・実用化技術に関する商用に耐えうる技術開発を行うために、メキシコの環境保護当局である SEMARNAT と協働で模範プロジェクトを展開してきた。こうした模範プロジェクトによって、EPA は、SEMARNAT が模範プロジェクトから一歩先の段階を、メキシコの嫌気性消化(発酵)装置産業の能力強化のために実行に移す事を助けてきた。

3. 炭坑における市場化プロジェクト

石炭採掘によって排出されるメタンガスは、それを回収することによってクリーンなエネルギー源として利用する事が出来、温室効果ガスの削減及び空気の質や炭坑の安全性の向上がもたらされる。全世界で排出される CMM(Coal-mine methane: 炭坑から発生するメタンガス)は、2005 年の 1 年間で CO₂ に換算しておおよそ 4 億トンと推定された。米国は CMM 回収の分野で指導的立場を発揮しており、CMM の市場化プロジェクトを発展させるための、情報及び専門的知見や技術を共有するべく、引き続きメタン市場化プロジェクトを通じて諸外国の関係者と協働を続ける。この報告が行われた 2008 年において、米国政府は 170 万ドルを上回る金額での資金援助を通じて、一連の CMM に関するメタン市場化プロジェクトを支援した。炭坑産業に関する主要な取り組みは以下の通りである。

3-1. CMM 技術実証プロジェクトへの支援 (中国・メキシコ)

世界市場において CMM に関係する最新の諸技術の採用を促しかつ加速させる目的で、EPA は有効かつ費用対効果に優れた CMM 技術を内外に示す模範プロジェクトについて、支援を行ってきた。中国において、EPA は低品質のメタンガスから電力を創出する事が可能なエンジンに関する諸技術の応用についての模範プロジェクトを支援している。またメキシコでは、EPA は CMM を液化天然ガス(Liquefied Natural Gas: LNG)に変換させる事を目的とする模範プロジェクトに対して、資金援助を行っている。

3-2. プロジェクト能力強化及び情報障壁の克服（中国・インド）

CMM の回収及び利用に関する実効性のあるプロジェクトを開発する上で一つ重大な障壁となるのは、炭坑そのものや一般的な石炭採掘に係わる実務、及び炭坑に関係する市場化プロジェクトの有用性に関する情報の欠如に他ならない。市場化プロジェクトの開発者がこうした障壁を乗り越えるのを助けるべく、米国政府は、現場において理解されていなければならない事柄や、効果的な短期かつ長期的な市場化プロジェクトの開発に欠かすことの出来ない技術についての専門的知識を蓄積させる幾つかのプロジェクトに関して、支援を行っている。

- 2007 年、EPA は中国における炭坑／鉱床メタンガス(Coal Mine / Coal Bed Methane Gas : CBM)取引所の活動について、前年に引き続いて支援を行った。この取引所は、CMM 市場化プロジェクトの開発について、国内の技術あるいは制度に関する専門的知見を、市場化プロジェクトの開発者や投資家に提供している。
- 各地方レベルでは、EPA は中国貴州省における CMM 回収および実用化の後ろ盾となっている。貴州省では 2,000 カ所以上の炭坑が毎年合わせて 1 億トンもの石炭を生産しているので、CMM の回収及びクリーンなエネルギーとしての実用化の潜在的余地は大きい。具体的には、各国のプロジェクト開発者に、貴州省内の 45 カ所にあぶ炭坑におけるメタンガスプロジェクト開発の有用性に関する、最新の無料かつ的確な情報が提供される。
- EPA と USTDA(United States Trade and Development Agency : 米国貿易開発庁)及びインド政府は、世界第 3 位の石炭生産国であるインドに、CBM 及び CMM の取引所を最近になって設置した。この取引所は中国における国営取引所に類似したものであり、実際にインド政府内の石炭省および石油・天然ガス省によって運営されている。インドにおける石炭の生産は、近い将来劇的に増大する事が予想されている。また、CMM の排出は、メタンガスの回収及び実用化への取り組みが実施されない限り、増加することが見込まれている。

3-3. 炭坑の安全性向上にもつながる政策的インセンティブ（ウクライナ）

ウクライナでは、USAID と米国労働省が、より効果的にメタンガスを炭層から除去するために、炭層を地上から垂直に掘進する米国製の掘削機械の利用について、ドンバス炭田地帯に所在する炭坑内で働く労働者に向けて実践的なトレーニングを提供してきた。その場で提供される先進的な技術あるいはベストプラクティス(特定の目的を達成するための最善な方法)は、炭坑内におけるメタンガスを希釈し、炭坑の安全性を高めることにもつながっており、高品質のメタンガスを、クリーンなエネルギー源として回収し、再生可能エネルギーとして実用化するのを促進している。

また EPA は、ウクライナの炭坑におけるメタンガスの実用化を推進している。EPA は、

現地における技術に関する3回の会合について資金援助を行った。さらに、EPA 及びあるウクライナの非政府組織 (NGO)は、CCM 市場化プロジェクトを発展させるためのインセンティブを作り出しかつ障壁を縮小させるため、取り得る最善の政策及び規制についての調査及び啓発活動を行っている。なお、初期の調査段階の後に、当初の政策提言を共有するための主な政府関係者による円卓会議が予定されている。

3-4. ロシア・東欧における財政的障壁の克服

米国は、CMM市場化プロジェクトに関する財政的障壁を最小化するための、ロシア及び東欧諸国における国連欧州経済委員会(United Nations Economic Commission for Europe : UNECE)^{注16}の活動を支援している。技術及び財務の専門家が、ロシアとカザフスタンにおいて、市場化プロジェクトを展開する可能性のある場所を探し当てるためのミッションを実施し、専門家は、プロジェクトの当事者が資金援助の申請に利用する事が出来る、資金提供を可能にさせる内容の資料の作成や、投資家の関心を引くための特定のプロジェクトについての事業計画などの完成についての支援を提供した。また、この取組みの一環として、UNECEは事業計画の雛形をロシア語と英語の双方で作成し、ロシアとスイスの両国で財務に焦点を当てた3回の会合を、またポーランドとウクライナにおいて技術についての会合をそれぞれ実施した。このイニシアティブから得られた教訓は、UNECEにおける炭坑を発生源とするメタンガスに関する専門家グループによる幾つかの会議と、2007年北京におけるメタン市場化パートナーシップについての展覧会によって披露された。

4. 埋立地における市場化プロジェクト

ゴミの埋め立て処分場は、埋立地内部の有機物が嫌気状態のもとで腐敗する過程で、メタンガスを生み出す。埋立地ガス(Landfill Gas : LFG)はおおよそ5割がメタンガスで構成され、採取されたならば、クリーンなエネルギー源として扱う事が可能である。LFGは発電や熱源等として直接消費される化石燃料の代用として用いられ、あるいは精製されて天然ガスパイプラインに流される。LFGをこのような用途で採取し利用する事は、エネルギー・経済・環境・大気質もしくは公衆衛生上、大きな便益をもたらす事が可能である。

2005年において全世界の埋立地から排出されたメタンガスは、CO₂換算でおおよそ7億5,000万トンと推定される。米国はLFG回収の分野において指導的立場にあり、2008年においては2,400万ドル以上を、メタン市場化プロジェクトを通してLFGの再生可能エネルギーとしての実用化を拡大することに支出した。これらの取り組みの主要点は以下の通りである。

4-1. LFG 市場化プロジェクト博覧会及びセミナーの共催

- エクアドル環境省との連携の一環として、EPAは現地グアヤキル市において「ラテンアメリカにおける埋立地ガスの可能性を探る」と称する埋め立てガスに関する

^{注16} 国連の経済社会理事会(Economic and Social Council : ECOSOC)の活動を補助する5つの地域委員会の一つ。

プロジェクトの博覧会を準備し、それをエクアドル側と共催した。総計 40 以上の開発業者や投資家及び技術提供者が 13 の地方自治体の代表と共にこの博覧会に参加し、EPAがアルゼンチン、コロンビア、エクアドル及びメキシコにおける 14 の埋立地において実施した埋立地のアセスメントやプレフィージビリティの両調査^{注17}の結果について学んだ。これら 14 の埋立て地についてメタンガス市場化プロジェクトが完全に実施されたならば、プロジェクトが続いている間に年間排出量にしてCO₂換算で 1,500 万トンのメタンガスを削減する結果となる。この博覧会の後に、EPAはそれら 14 の埋め立て地のうちのいくつかに対し、市場化プロジェクトを前進させるべく、技術援助の供与を続ける事とした。

- EPA は、「気候変動とその公共サービスへの影響」と題したコロンビアの全国公共企業組合の賛助を受けたセミナーと同時に、LFG エネルギーについて、廃棄物処理に関する当局者向けに教育セミナーを開催した。幾つかの自治体を代表する埋立地あるいは廃棄物処理の当局者を含めて、おおよそ 40 名の参加者がこのセミナーに参加した。このセミナーは LFG の回収やガス回収ポテンシャルの推計及びエネルギー実用化技術についての基本的事項を対象とした。
- ブラジルでは、EPA はサンパウロ州環境・公衆衛生庁(CETESB)と共に、類似のセミナーを共同で立ち上げ、市町村の埋立て処分場を含めて政府や非営利部門、あるいは大学から 125 名以上が参加した。当該セミナーは、LFG の実用化及び埋立地からのメタンガス排出の監視、かつ米国における LFG プロジェクトの位置づけに関する基本的事項を含んだ内容で、参加者はサンパウロのバンデイランテス埋立て処理場におけるガス回収・実用化プロジェクトを視察した。
- 中国の深圳および北京において、EPA はメタン市場化プロジェクトや埋立地に関する基本事項、及びその有効利用方法や中国における廃棄物に関連するマーケット、さらにプロジェクトの遂行に必要なカーボンファイナンスの基礎についての内容が盛り込まれた、2 件の LFG エネルギーに関するセミナーを後援した(写真 2)。



写真 2：中国貴州省貴陽市にある Gaoyan 埋立て処理場－米国による資金援助を元に造成され、2007 年に北京にて開催されたメタン市場化パートナーシップ博覧会の場で発表されたアセスメント報告にて取り上げられた現場。

^{注17} プレフィージビリティ(Pre-Feasibility)調査(もしくは「スタディ」): 開発援助の分野における専門用語として、最終目標の達成のための全体計画を明らかにし、次段階としてフィージビリティ調査を行うべき案件を抽出する目的で行われる調査を指す。

4-2. 埋立地運営担当者へのトレーニング（ウクライナ）

EPA は、埋立地の運営担当者を対象とするオペレーション&メンテナンス(Operation & Maintenance：管理運営事業：O&M)に関する初めての研修コースを、ウクライナにおいて手掛け、米国から派遣された有能な埋立地の運営担当者が、総計 20 名の埋立地経営者や運営担当者あるいは市町村責任者や他の専門家の出席のもと、キエフ及びリヴネに在る埋立地にて研修課程を実施した。研修では、埋立地における O&M 業務に関するベストプラクティスや、回収可能な LFG の探査を前進させるための立地条件を教授した。具体的には、メタンガスを回収している最中の現場管理(埋立ての具体的手法や埋立てたゴミの引き均し方を含む)や、設備や埋立地そのものの維持管理及び LFG の回収、さらには健康や安全面での管理等が教えられた。EPA はこの研修コースを、他のメタン市場化プロジェクトの相手国においても実施する計画である。

4-3. プレフィージビリティ及びアセスメント調査（ブラジル・韓国・インド）

プレフィージビリティ及びアセスメントの両調査は、LFG がその場所で入手可能か否かを推計し、またエネルギー回収技術の適用可能な範囲を見極め、かつ市場化プロジェクトの経済的実現可能性の事前評価を行う。これらの調査は、プロジェクトに関する重要なデータをその開発者や投資家にリストアップする事によって、プロジェクトを進展させる。

- EPA はブラジルにおける 11 の埋立て処理場のアセスメント調査を完了した。さらに EPA は将来におけるプロジェクトの場として最も有力な 3～4 ヶ所における利害関係者の会合に出席し、自らの調査の結果得られた知見を報告し、こうした有力地における将来的なガスの最終消費者や地方政府当局者、あるいは投資家や他の有力地におけるプロジェクトの利害関係者に、プロジェクトの潜在的可能性について認識の統一を図る。
- EPAから資金供与を授かった後、韓国地域暖房公社^{注18}は韓国内の 3 ヶ所の埋立て処分場についてプレフィージビリティ調査を実施した。この調査結果報告書は、それぞれ 3 つの埋立て処分場に、0.6 から 2 メガワットの帯域の発電能力を持つレシプロエンジン(次ページ写真 3)^{注19}の導入を勧告している。また、この報告書は具体的にエンジンを導入した者が、この取り組みに対して韓国電力公社^{注20}との間でグリーン電力について割増料金を設定する事について話し合う事を勧告している。

^{注18} 末端消費者に対する冷暖房事業を主に手掛ける国営企業。1985 年に設立(92 年国有化)。

^{注19} 通常自動車に搭載されるピストンエンジンに同じ。燃料の燃焼エネルギーをピストンの往復運動に変換し、さらにその往復運動を車輪の回転運動に転化させる。この場合、この回転運動によって発電機を動かして発電する。

^{注20} 韓国の電力供給事業を独占する国営企業。段階的な民営化が進められている。



写真 3 : 埋立地ガスによって作動する発電機を動かすレシプロエンジン(米国 GE 社のイエンバッハ・ガスエンジン「タイプ 6」) - GE 社提供)

(出所 : <http://www.genewscenter.com/content/detailEmail.asp?ReleaseID=4947&NewsAreaID=2>)

- EPAは、インド国内アーメダバード市内ピラナ埋立て処理場について、プネ市にある処理場と共にプレフィージビリティ調査を執り行った(写真 4)。これら 2 つの調査は、上記のようなエンジンによる発電や単なるガスフレアリング^{注21}、あるいは近隣産業へのパイプライン敷設を含めた幾つかの選択肢について、その経済的な実行可能性を探った。これら 2 つの調査は、メタンガス回収計画の申請を行うに当たって必要なデータを提供し、各現場においてこうした計画を取り込む狙いがある。



写真 4 : 埋立てメタンガス採取装置の調査
(インド・プネ郊外ウルリデバチ埋立て処分場)

4-4. ゴミ処分場の設計と一体化した取り組みをめざして

- EPAと国際エネルギー機関 (International Energy Agency : IEA^{注22})は、「負債を資産に変える：インドにおける埋立てメタンガスの実用化の可能性」という題名の事例研究を完成させた。今日、インドでは処分場について、表に剥き出しのゴミの山からより適切に管理された埋立地へと、移行が進んでいる。この事例研究は、新たな埋立地の設計に関する初期段階で、LFGの管理について考慮がなされ、かつ効率性が確保されるべきと結論付けた。さらにこの研究は、インドにおいてLFGエネルギー産業を立ち上げるには、公益企業体はLFGによって創出されたグリーン電力

^{注21} ガス田(あるいは油田)から遊離してしまう天然ガスを焼却し、炎上させる事。

^{注22} 産油国から構成される石油輸出国機構(Organization of Petroleum Exporting Countries : OPEC)に対抗して、主要消費国たる先進国の立場を代弁するべく設けられた、経済協力開発機構(Organization for Economic Co-operation and Development : OECD)の関連機関。

について、その分を割増して料金設定し、既存のLFGエネルギーに関する政府補助金を各地の処分場が活用する事を促している。

- EPA は、現地における気候とゴミ処理の流れに関するデータを用いて、エクアドルにおける LFG 回収と実用化に関する事業モデルを編み出した。埋立て処分場でのポンプによるゴミの汲み上げ試験から集められたデータによって、その編み出されたモデルの修正を行った。修正されたモデルは、(浸透性カバー及び表土を敷いた結果発生した) 余剰雨水の濾過や浸出液の高い濃度、あるいは低い高さでのゴミの埋立てや食料廃棄物の割合の高さ等、地域の埋立て地の状態を説明するものである。さらに EPA は、個別のエクアドルにある埋立て処分場間でそれぞれ異なる湿度水準を説明する、モデル入力に関するマトリクスを作成した。
- アルゼンチン・ブラジル・コロンビア及びエクアドルからの代表団は、ワシントン D.C.における EPA の埋立て処分場メタンガス普及プログラム(Landfill Methane Outreach Program : LMOP)関係会議に出席した。各国の代表団は、独創的な LFG エネルギー市場化プロジェクトの数々をカバーする技術セッションに足を運んだ。なお、会議の前に、代表団はヴァージニア州フェアファックスの町にある I-95 埋立て処分場を視察している。視察の際、代表団は処分場の運営や維持管理、さらには LFG の貯蔵やエネルギーとしての LFG そのものについて質問を向けた。その I-95 埋立て処分場は、電力の創出から維持管理施設内にある非燃焼ヒーターの燃料補給、さらには隣接する廃水処理工場から出るヘドロの脱水に、LFG を用いている。

5. 今後の展開

米国は引き続きメタン市場化パートナーシップを強力に推進する事に変わりはない。具体的には、2010 年初頭に催される本パートナーシップに係わる展覧会を主導し、農業分野などの各部門における国ごとに特化した行動計画に関して相手国と手を携えて取り組む。さらに、全 4 分野のメタン市場化プロジェクトにおいて、プロジェクト開発のための技術援助及び財政的支援を継続して行う。米当局は、これらの活動が京都議定書の下で行われる諸活動の良き下支えとなると考えている。来たる 2010 年においても、米国政府はメタンガス削減を目的とした、既存の及び 2012 年以降確立される気候枠組みに係わる諸制度を補完するさらなる取組みを可能にさせるべく、関係諸国と協働を進める。

編集：NEDO 研究評価広報部 翻訳：篠田建一

出典：http://www.epa.gov/methanetomarkets/pdf/2008-accomplish-report/m2m08_usg_report_08_scrnrez.pdf

【地球温暖化特集】 排出量取引

米国東部の州レベルでの排出量取引制度

RGGI の現状

地域温室効果ガスイニシアティブ（Regional Greenhouse Gas Initiative : RGGI）は北東および中部大西洋の 10 州から成るグループで、化石燃料を使用する 25MW（メガワット）以上の発電能力がある発電所に対して、キャップ・アンド・トレード型（上限設定・取引型）^{注1}の二酸化炭素(CO₂)排出量取引プログラムを実施してきた。このプログラムは地域全体に点在する約 225 の施設を対象としている。RGGIは、温室効果ガス（Greenhouse-gas: GHG)の排出を削減するための米国初の強制的な市場ベースの取り組みである。その目標は、加盟している州の発電部門からのCO₂の排出を、2018 年までに2009 年のアローワンス^{注2}対比で 10%削減することにある。RGGIは、2008 年 9 月に開始された排出量のオークション^{注3}結果に基づき各施設へのアローワンスを割り当て、2009 年 1 月 1 日に遵守期間が始まった。オークションでの売り上げは、エネルギーの保全と再生可能エネルギープロジェクトを推進するのに役立てる。RGGIによる概説はウェブサイト^{注4}から入手可能である。

RGGIは、参加している 10 州のそれぞれが運営する個別のCO₂予算取引プログラム(CO₂ Budget Trading Programs) で構成されている：コネチカット州、デラウェア州、メイン州、メリーランド州、マサチューセッツ州、ニューハンプシャー州、ニュージャージー州、ニューヨーク州、ロードアイランド州、およびバーモント州である（石炭産出州であるペンシルバニア州は、オブザーバーとして参加）。州の規制プログラムは、RGGIモデル・ルールに準ずる。モデル・ルールは、各州のルールとの一貫性を保つために過去に数回修正され、直近では 2008 年 12 月に修正された^{注5}。各州は、RGGI参加地域全体のCO₂排出上限の各州への割当分に相当するCO₂アローワンスを発行する。CO₂アローワンス 1 つにつき、1 トンのCO₂排出が許可される。州は、RGGI参加地域全体の総排出量の上限を超えないように、発行されたアローワンスの数を管理する。発電事業者は、自己のCO₂排出量をカバーするアローワンスを保持しなければならない。規制を受けた発電所は、個別の州プログラムを遵守していることを示すために、これら 10 州のいずれかが発行したCO₂アローワンスを使用することができる。従って、個別の州プログラムはRGGIという単一のCO₂排出地域市場の一部として機能しているのである。

^{注1} 各施設に排出量の上限(Cap)が予め決められている方式。

^{注2} 対象施設に交付される排出量の枠。ここでは個別施設へのアローワンスを合計した総排出量のこと。

^{注3} 対象施設は年度の初めに州政府から排出量を入札で購入する。州がオークションに出す総枠には上限があるので、例えば安値で入札したために必要な枠を入手出来なかった施設はその不足分を市場で調達することになる。

^{注4} http://rggi.org/docs/RGGI_Executive_Summary.pdf

^{注5} <http://rggi.org/docs/Model%20Rule%20Revised%2012.31.08.pdf>

当初のCO₂排出予算(上限)は、10州で1億8,800万トン（この10州の2000～2004年の平均排出量より4%増加）である。この上限は、2009年のアローワンスの数より10%低くなるまで、2018年にかけて徐々に引き下げられる。特に、10州は、2009年～2014年の間は発電所からのCO₂排出を増加させずに安定させ、その後2015～2018年に排出量を年率2.5%削減することを目標としている。発電事業者は、オフセット（電力部門以外でのGHG排出削減や隔離プロジェクト）を利用して自己の法令遵守義務の一部を達成することができる。当初、CO₂ オフセットアローワンスの利用は、発電所の義務の総量の3.3%に制限されている。オフセットとして認められるカテゴリーのリストは、ウェブサイト^{注6}から入手できる。

RGGIに加盟している州は、CO₂アローワンスをまず年4回行われる地域のオークションにかける。各州は、割り当てられたアローワンスの最低25%をオークションにかけなければならない（ほとんどの州は、無料で電力会社にアローワンスを割り当てるより、すべてのアローワンスをオークションにかける計画である）。RGGIのアローワンスは有効期限がなく、永久に留保できる。この点が、欧州の排出量取引の第1段階と違うのである。参加している州は、売れ残ったアローワンスを第1遵守期間に引き上げるか、これらのアローワンスを第2遵守期間のオークションで販売するかどうかを2012年に決定する。

RGGIのCO₂アローワンスの遵守期間前オークションが、2008年9月および12月に開催された。それぞれのオークションでの最終価格は、RGGIが設定した最低落札価格の\$1.86を上回るものであった。2009年割当て分のアローワンスには3年の遵守期間がある（2009～2011年）。

表1 RGGI オークションの最終結果

オークション実施日	割当て年	オークションに かけられた数	売却数	約定価格
1. 2008年9月25日	2009年	12,565,387	12,565,387	\$3.07
2. 2008年12月17日	2009年	31,505,898	31,505,898	\$3.38

出典：RGGI (<http://rggi.org/offsets>)

インターネットベースのオークションは、単一回封印入札の方式で行われた。参加者は何度でも入札できるが、1回の入札に1つしか値を付けることができず、オークションにかけられたアローワンスの25%を超えて購入することはできない^{注7}。すべての入札に関す

^{注6} <http://rggi.org/offsets>

^{注7} 例えばある州が100万アローワンス（100万トンのCO₂排出量）をオークションにかけた場合、特定の1社が25万アローワンスを超えて入札することは出来ない。

る約定価格は「限界ビッド(marginal bid)」によって決定された。限界ビッドとは、(すべての入札価格が降順になっているとき) アローワンスに対する累積需要が、オークションにかけられるアローワンスの数を超過する入札である (例示参照)。

(限界ビッドの例)

オークション対象：アローワンス 100 万 (CO₂ 排出量 100 万 t)

	入札数量	累積の入札数量	入札価格	約定価格
A 社	10 万	10 万	\$ 8	\$ 3
B 社	15 万	25 万	\$ 7	\$ 3
C 社	25 万	50 万	\$ 6	\$ 3
D 社	20 万	70 万	\$ 5	\$ 3
E 社	15 万	85 万	\$ 4	\$ 3
F 社	20 万 →15 万だけ落札	105 万 (→100 万)	\$ 3	\$ 3
G 社	20 万		\$ 2	落札できず
H 社	15 万		\$ 1.5	落札できず

2008 年 9 月のオークションには 59 の、12 月のオークションには 69 の参加者が入札に参加した。9 月に行われたオークションの参加者のうち、約 80%は電力の供給者、15%は義務を果たす必要のない会社 (たとえば、ブローカー)、残り 5%はその他 (アローワンスを取得して、自発的オフセット用に一般に売却する計画のある環境団体など) であった。入札価格は、最低落札価格の\$1.86 から\$12 までであった。オークションに関する報告書は、ウェブサイト^{注8}から入手可能である。

3 回目のオークションは 2009 年 3 月 18 日に行われる。RGGI に参加している州は、2009 年割当て分である約 3,150 万アローワンスと、2012 年割当て分の 220 万アローワンスを売りに出す予定である。

ある観測筋は、RGGIプログラムにおいてアローワンスは供給過剰になり、値崩れを起こす可能性を指摘した (EU-ETS^{注9}プログラムの第 1 段階で起こったのと同様に)。RGGI に参加している州の規制を受けた発電所からのCO₂排出は、2007 年 (公式な数字が入手できる最新年) には 1 億 7,140 万トンであった。速報値によれば、2008 年のCO₂排出はわずか 1 億 5,620 万トンである^{注10}。この排出レベルはみな、RGGI 第 1 段階の排出上限である 1 億 8,800 万トンを下回っている。しかし発電事業者はこれまでのところ、将来の罰

^{注8} http://rggi.org/co2-auctions/results/auction_1_reports

^{注9} EU (欧州連合) の Emission Trading System(排出量取引)

^{注10} <http://uscarbonreport.com/point-carbon-finds-rggi-long-by-318-million-allowances-in-2008/#more-597>

金を回避する目的で、RGGI が設定した最低落札価格よりも高値でCO₂アローワンスを積極的に購入している。

RGGIへの参加者はまた、CO₂アローワンスを二次市場で取引することができる。ここで、発電事業者は必要以上に保有しているアローワンスを売却することができ（CO₂排出を削減している発電事業者も同様）、アローワンスが足りない電力会社はアローワンスを購入することができる。RGGIの二次市場では、アローワンスを現物取引するのみならず、先物取引やオプション取引といった金融派生商品としても取引できる。RGGIの先物取引やオプション取引は、2カ所のパブリック・エクスチェンジ^{注11}（シカゴ気候先物取引所^{注12}、およびニューヨーク商業取引所^{注13}のイニシアティブであるGreen Exchange）で取引を行うことができる。これまでのところ、二次市場での価格は、2回のオークションでの価格に連動している。ポトマック・エコノミックス社^{注14}からの報告書^{注15}によれば、2008年8月～2009年1月までのRGGIの二次取引市場では、少しずつではあるが着実に取引が拡大しているとのことである。

- ・ 2008年9月に155,000アローワンス/日であった先物取引の取引量は、2009年1月に33万アローワンスになった。
- ・ 二次市場でのアローワンスの価格は、2008年8月22日の\$5.63から2008年10月1日の\$3.18に下落した（この期間に世界の石油価格が大幅に下落した）。しかし、市場の乱高下はポトマック社レポートにおける研究対象期間中に治まった。
- ・ 少なくとも25社が、パブリック・エクスチェンジで標準先物取引^{注16}およびオプション取引に参加した。

ポトマック・エコノミックス社は現在、RGGIのための独立市場モニターとして働いている。同社によれば、参加者が反競争的行為を行ったという証拠は見つからなかったとのことである。

RGGIが対象とする範囲は限られており、発電所からのCO₂排出に劇的な変化をもたらすとは考えられないが、それでも、このプログラムは米国初の強制的なGHG取引プログラムであるという点で重要である。同プログラムにより、参加者はCO₂オークションへ参加し、オフセットや他のリスク管理ツールを利用する経験ができるのである。もし近い将

^{注11} 電子商取引の一形態であるB2B (business to business、企業間取引)市場で、従来の企業間関係にとらわれず、バイヤー、サプライヤーを含む広く一般が参加できる市場。

^{注12} Chicago Climate Futures Exchange

^{注13} New York Mercantile Exchange

^{注14} Fairfax, Virginia (<http://www.potomaceconomics.com/>)

^{注15} Report Shows Solid Foundation for Emerging Carbon Market, 4 March 2009 (http://rggi.org/docs/Secondary_Market_Report_News_Release_FINAL.pdf)

^{注16} 取引対象になる商品の取引条件、取扱金額、予約期間が予め規格化されている商品（標準物）を取引すること。（参照：金融大学 先物取引入門講座 第1回 先物とは何か (<http://www.findai.com/kouza/2001fut.html>)）

来に、米国で包括的な GHG 取引システムが導入された場合(実現可能であるとみられる)、RGGI は米国企業に、多くの企業が EU-ETS の下ですでに世界的規模で開発した市場インフラの一部とスキルを構築する機会を提供する。

RGGI と EU-ETS の関係

2005 年、欧州連合(European Union: EU)は、世界で最大の排出量取引システムである EU-ETS を創設した。ETS の第 1 段階(2005～2007 年)では、12,000 施設、EU の GHG 排出量の 45%が対象となった。しかし、ETS のプログラムは第 1 段階では効果的ではなかった。というのも、多くの政府が排出企業に対して、実際の排出量より多くの排出許可を無料で割り当てていたからである(ほとんどの政府が 100%の無料割り当てを選択した)。CO₂ の価格は、2006 年の 30 ユーロ/トンから、企業が国別上限義務を達成した 2007 年後半には 0 ユーロ/トン近くに崩壊した。ETS の第 2 段階(2008～2012 年)では進歩が見られ、プログラムの対象範囲も拡大している。欧州委員会は、第 2 段階の国別の許可割り当て計画を修正し、排出レベルを 2005 年対比で平均 7%近く低いレベルに設定した。第 2 段階では、アローワンスは留保できるため、下方への価格変動を抑える一助になると見られる(しかし、2009 年初め、ETS の CO₂アローワンスの価格は、世界経済の後退の結果下落した)。

RGGI が設計した諸点は、EU-ETS の将来の方向に影響を与える可能性がある。RGGI のキャップ・アンド・トレードプログラムは、ほとんどすべてのアローワンスを、無料割り当てではなくオークションによって配分する最初のものである。2008 年 1 月、欧州委員会は EU-ETS スキームの変更を提案した。この変更には、国別に上限を計画するのではなく排出量の許可を中央(EU)で一元化して割り当てること、および排出量の最低 60%をオークションに移管することが含まれている。おそらくは、第 3 段階が始まる 2013 年 1 月までに発効するとみられる。

RGGI と EU-ETS は、間接的につながっている。RGGI と EU-ETS は、ともに相互に承認した第三者プログラムであるクリーン開発メカニズム (Clean Development Mechanism: CDM)^{注17}でつながっている。EU-ETS は、京都議定書により設立された CDM に直接リンクしている。RGGI は、RGGI のアローワンスの価格が目標のレベル(\$10/トン)に到達した場合、国際的オフセット(CDM のアローワンス^{注18})を受け入れることになっている。米国は京都議定書の批准国ではないため、EU は京都議定書の下で RGGI のアローワンスを受け入れることができない。

^{注17} 温室効果ガス排出を削減するための京都メカニズム(クリーン開発、共同実施、および排出量取引)の一手法。先進国が資金的技術的支援を行って、途上国で温室効果ガス削減事業または二酸化炭素吸収促進事業を実施した場合、排出削減量の一部をその先進国の排出削減量としてカウントできる制度。

^{注18} Certified Emission Reduction : CER。クレジット 1 単位は CO₂削減量 1 トンに相当し、1 トン単位で取引される。

RGGIの分析は、相互受け入れを可能にする国際協定を締結することが経済的に利益をもたらすことを示唆していると、世界気候変動に関するピュー・センターの報告書は述べている^{注19}。米国のプログラムを他のシステムとリンクさせるためには、排出の削減が各システムによって検証可能でなければならない。リンクの創設には、在庫、方法論、モニタリング手続き、および他のシステムの法令遵守メカニズムの評価が必要になる。また、ある量の排出削減の環境に対する影響が、2つのプログラムで同じになるようなプログラムの設計も必要である（条約の要請に従い、EU、カナダ、日本など京都議定書の批准国はリンクした排出量取引システムを持ち、批准国は共通の定義、共通の要請および取引のための共通のプラットフォームを共有している）。電力研究所の論文^{注20}には、GHG排出に関する世界の取引市場をリンクするための、更なる議論が展開されている。

翻訳：吉野 晴美・編集：研究評価広報部

出典：SRI Consulting Business Intelligence Explorer Program

^{注19} Question 3 - International Linkage、February 2006

(http://www.pewclimate.org/policy_center/analyses/sec/q3.cfm)

^{注20} Linking Global GHG Emissions Trading Markets: Issues and Approaches, 20 March 2007

(http://globalclimate.epri.com/PDF/Adam_Diamant_Linking_CCAR_Linking_Panel.pdf)

【地球温暖化特集】 **カーボンフットプリント**

カーボンフットプリント^{注1}表示に関する最新の規制(フランス)

NEDO 技術開発機構 欧州事務所
Christophe DEBOUIT

フランスでは、電化製品、自動車および新築建物についてカーボンフットプリント表示がすでに義務化されている。現在、環境グルネル^{注2}の枠組みの中で、2011年1月1日から他の製品カテゴリーも義務化の対象となる。環境省の発表によれば、まず大量消費製品のみを規制対象にするとのことであるが、そうした製品の厳密な分類に関してはまだ発表されていない。

これは、もともとは2007年に行われたグルネル会議の初回討論でJL. Borloo 環境大臣が発案したもので、「グルネル1」法（一般的な目標を定めた最初の法的措置）第47条に以下のように規定された。

「消費者は、提供された製品に関して誠実、客観的かつ理解可能な環境情報を得る権利がある。製品とサービスの社会的、環境的表示は、提供された製品やサービスの環境に与える影響に係る情報を消費者に提示することを目的として、順次発展させるものとする。2010年末までに、第1カテゴリーに区分された製品の一部について、環境負荷（CO₂排出量）に関する目安を設定する。表示方法については、利害関係者との協議を行うこととする。」

現在設計過程にある「グルネル2」法案（グルネル1に掲げられた目標を実施するための、詳細で具体的な方法を規定する）では、第85条に以下の規定が見られる。

「2011年1月1日以降、製品やその包装のみならず、その製品のライフサイクルの中で天然資源の消費、あるいは自然環境に与えた影響を炭素換算した内容を、マーク、ラベル、表示その他の適切な方法によって、消費者に情報を与える。国务院の命令により、すべての製品カテゴリーへの現条項の適用に関する様式と条件を、流通方法に応じて決定する。」

^{注1} 原材料の調達から製造、流通、使用、廃棄に至るまでのライフサイクルの中で、ある製品がどの程度の二酸化炭素(CO₂)を排出したかを示す指標。

^{注2} 環境グルネル（環境グルネル懇談会）は、フランスにおける多くの関係者が参加する公開討論で、中央政府、地方政府および組織（産業、労働者、専門家協会、およびNGO）の代表が集結し、特定のテーマについて立場を統一することを目的とする。2007年の夏、ニコラ・サルコジ大統領によって提案された環境グルネル円卓会議の目的は、今後5年の、環境に優しく、且つ持続可能な開発問題についての公共政策の重点を明示することである。

この文章はまだ草案にすぎないが、上下両院で審議された後、おそらくは 2009 年夏までに最終承認が得られる見通しである。グルネル 1 の時と同様、このプロセスを通じて多くの修正がなされることは必至で、これには、文章からこの規定が単に削除される、あるいは、少なくとも変更されるという可能性が含まれる。しかし、これは実際には起こりそうにない。ことあるごとに省レベルでもマスメディアでも、そのような可能性が低いことを公に強調しているからである。また、フランスの主要大型小売店（カジノ、カルフル、モノプリ、コラ、ムスカテル）は、来るべき法的義務に備えてすでに独自のイニシアティブを実施しており、当時はまだ法的枠組みがなかったにも拘わらず、すでにカーボンフットプリントの表示を実施していたのである。

カーボンフットプリントの表示は、製品のライフサイクルすべて（生産、取引、包装、輸送、店舗での販売、およびリサイクル）を対象とする。この点で、関係者は今後 ADEME（仏環境・エネルギー管理庁）の支援を受けて、表示に必要な基準と関連枠組みだけでなく、環境に与える影響に関する共通の方法論的原則を製品群別に設計する。

標準的な排出評価に関する公開の専用データベース[の導入]も検討される。実際、ライフサイクル中の要素の中に、ある製品独自のものや販売業者に特異的なものがある場合もある。たとえば、鉄鋼を使用したすべての製品について鉄鋼生産時の環境負荷（CO₂排出量）を再計算しても意味はないため、基準値があれば足りるのである。

これと並行して、環境グルネル実行委員会 23 は ADEME に対して、Afnor^{注3}と協力して、ガイドラインの関連枠組みを策定するよう求めた。カーボンフットプリントの評価とその製品への表示を、整合的に実施するためである。2008 年に発表された「大量消費製品に対する環境表示のための一般原則^{注4}」と銘打たれた文書は、環境表示の実施に当たり、遵守されるべき主要原則を提案している。他の部門のガイドラインは 2011 年までに発表される予定である。

付属

ADEME は、産業、行政、地方自治体あるいはサービス部門のカーボンフットプリント評価のための方法を記した Bilan Carbone^{注5}（「炭素評価」）をすでに発表している。Bilan

^{注3} フランス標準化協会

^{注4} 参照：Afnor ガイド X30 BP-323（July 2008） 49.10 €

^{注5} 方法論に関するガイド(フランス語のみ)：

<http://194.117.223.129/servlet/getBin?name=CD6902D1AAFD8740470C44C136A32C451169215135181.pdf>

計算に関するガイド(フランス語のみ)：

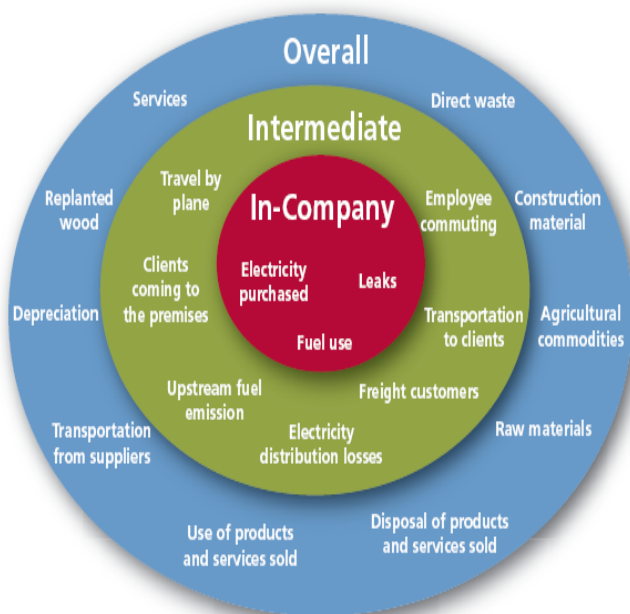
<http://194.117.223.129/servlet/getBin?name=CD6902D1AAFD8740470C44C136A32C451169215062423.pdf>

ビデオによるミニ・プレゼンテーション(英語のサブタイトル)：

Carboneはエクセルの主表で構成されており、排出量を計算し、年次ごとに比較し、排出量削減のために取り得る行動を評価できるようになっている。これに加え、実用的な3つのプログラムが具体的に掲げられている。それは、①道路輸送における排出量（トン/km）の計測プログラム、②冷蔵設備から漏れる冷却ガスの計測プログラム、および③エクセル表の結果の、経済への影響評価プログラムである。

Bilan Carboneは、いわゆる社内（工場内）での直接排出量や仲介（販売活動等）過程での排出量のみならず、最大限の間接排出を含んだ全体的な領域をカバーしており、価値連鎖（製品のライフサイクル）全体の排出項目を提供している。京都議定書でカバーされている、関連のあるすべての温室効果ガスを、IPCC^{注6}の100年GWP^{注7}係数を用いて二酸化炭素換算で評価する。

Bilan Carbone®の評価項目



直接排出(In-Company)

漏洩、燃料使用、購入電力

媒介過程(Intermediate)

労働者の通勤、顧客への製品輸送、貨物取扱業者、送電ロス、上流（原料）部門での排出、顧客の施設来訪、航空機使用

全体(Overall)

直接廃棄、建設資材、農産物、原料、提供された製品またはサービスの廃棄、提供された製品またはサービスの使用、（原料）供給者からの輸送、減価償却、植樹、サービス

翻訳：吉野晴美

http://www.terre.tv/?lang=en&vid=1151#/en/renewable-energy/report/1151_the-carbon-balance

注6 Intergovernmental Panel on Climate Change、(国連) 気候変動に関する政府間パネル

注7 global warming potential、地球温暖化指数

【地球温暖化特集】 温室効果ガス排出報告システム

EPA は初の全国規模の温室効果ガス排出報告システムを提案（米国）

米国環境保護庁(Environmental Protection Agency: EPA)は、米国の主要排出源からの二酸化炭素(CO₂)および他の温室効果ガスの排出を報告するための、米国初の包括的な全国規模のシステムを提案した。

「気候変動に対する私たちの取り組みは、できる限り最上の情報に基づいていなければなりません。この新しい報告システムを通じて、私たちは温室効果ガスの生産に関する包括的で正確なデータを持つことになるのです。これは、我が国の小企業に面倒な負担をかけることなく、私たちの健康と環境をより良く保護するための、決定的に重要なステップなのです。」EPA の Lisa P. Jackson 長官は、こう述べた。

報告システムの開発に当たって、EPA は州レベル、地域レベルおよび自発的プログラムについてすでに完了した、あるいは現在進行中の相当量に及ぶ作業を考慮した。

温室効果ガスは CO₂ のように、化石燃料の燃焼により、また産業プロセスや生物学的なプロセスを経て生産される。米国内での温室効果ガスの約 85~90%を排出している、およそ 13,000 の施設がこの提案の対象となる。

新しい報告システムは、化石燃料や工業用化学薬品の供給者、自動車やエンジンの生産者、並びに年間 25,000 メトリック・トンの基準値を超えて温室効果ガスを排出する大規模直接排出者に適用される。大雑把に言うと、この基準値は 4,500 台強の自動車からの温室効果ガス排出量に匹敵する。ほとんどの小企業からの排出はこの基準値よりずっと低いレベルにあるため、報告義務は課されない。

この報告システムの対象になる直接排出源には、セメント生産、鉄鋼生産および発電といったエネルギー集約的な部門が含まれる。

初回(2010 年の排出分)の年次報告は、2011 年に EPA に対して提出される予定である。ただし、自動車およびエンジンの生産者は、2011 年の排出分から報告することになる。

EPA は、この報告システムを遵守するための民間部門の初年度のコストは 1 億 6,000 万ドルになると見積もっている。その後の民間部門の年間コストは、1 億 2,700 万ドルになると見ている。

EPA は、大気浄化法(Clean Air Act)で定められた権限に基づいてこの規則を開発している。提案された規則案に関しては、官報掲載後 60 日に渡りパブリック・コメントを受け付ける。この期間中、2 度の公聴会も行われる。

詳細についてはウェブサイト^{注1}から入手できる。

翻訳：吉野 晴美

出典：EPA Proposes First National Reporting on Greenhouse Gas Emissions
(<http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/d0cf6618525a9efb85257359003fb69d/4bd0e6c514ec1075852575750053e7c0!OpenDocument>)

^{注1} Proposed Mandatory Greenhouse Gas Reporting Rule
(<http://www.epa.gov/climatechange/emissions/ghgrulemaking.html>)

【地球温暖化特集】人工衛星による温室効果ガス観測

NASA 炭素観測衛星運用ミッション（米国）

ー 全球の CO₂ 排出・吸収と気候の謎についての解明を目指すー

はじめに

炭素観測衛星(OCO: Orbiting Carbon Observatory^{注1}) (図 1 参照) は、CO₂ の大気中への排出とその後の行方に関する答えを追い求めるべく、2009 年 2 月 24 日に打ち上げられたが、衛星を搭載した Taurus XL ロケット (写真 1 参照) のノーズコーン^{注2}部分の欠陥により、打ち上げ直後に南極沖の海上に墜落してしまった^{注3}。打ち上げの失敗は、これまで気象に関する様々なデータを集積してきた衛星の老朽化に十分対応できなくなることによって、現在と未来のデータとの整合性が取れなくなる懸念を生じさせている^{注4}。今後のミッションの趨勢に関しては不確定な要素が残るが^{注5}、世界で炭素観測衛星運用ミッションを推進する 2 カ国 (うち一つは日本であり、本年 1 月 23 日に温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」が打ち上げられた^{注6}) の一つに関する基礎的情報として、ここに紹介する。

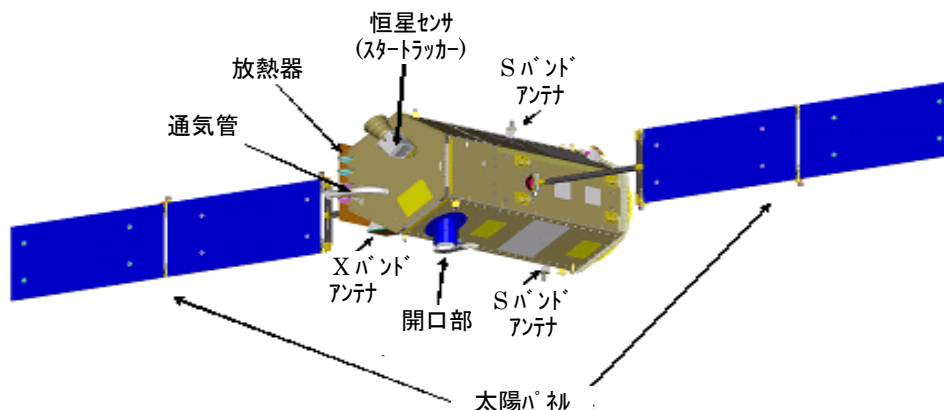


図 1: NASA の炭素観測衛星

(出所: <http://oco.jpl.nasa.gov/observatory/spacecraft/>)

注1 Orbiting Carbon Observatory(OCO): 米国で NASA が打ち上げ予定の温室効果ガス観測技術衛星。CO₂ と O₂ を観測。総工費 2 億 7,800 万米ドル。

注2 ミサイルやロケット等の先端に装備される円錐状の部品。空気抵抗の減免が可能となる。

注3 NASA の 2 月 24 日付ニュースリリース

http://www.nasa.gov/home/hqnews/2009/feb/HQ_09-039_OCO_failure.html を参照。

注4 影響を受ける取り組みの一例として、南極大陸にくまなく地震観測計を設置する事を目指した POLENET (Polar Earth Observing Network: 極地域観測ネットワーク) がある。

注5 事故翌日に、墜落原因を究明するための調査委員会が立ち上げられた (2 月 25 日付 NASA ニュースリリース http://www.nasa.gov/home/hqnews/2009/mar/HQ_09-047_OCO_MIB.html を参照)。

注6 NASA の担当者は、データの整合性を維持するためにも、日本側との協力関係を強化すると明言している (NASA のジェット推進研究所(JPL: Jet Propulsion Laboratory)3 月 6 日付ニュースリリース <http://oco.jpl.nasa.gov/news/index.cfm?FuseAction=ShowNews&NewsID=34> より)。

写真 1 : Taurus XL ロケット

(出所 : <http://oco.jpl.nasa.gov/observatory/>)



ミッションの目的

OCO によって、人間活動由来と自然由来の CO_2 供給源(source)、及び「吸収源(sink)」(CO_2 が大気から取り込まれて貯留される場所)の、世界で初めての全球図が提供される。 CO_2 は人為的に排出された温室効果ガスの中で最も多い割合を占めており、気候変動の要因の一つとなっている(図 2)。OCO は、地球の CO_2 排出源・吸収源の地理的分布図を作成し、その経時的変化を研究する。今回の測定では、地上局(*後述「補足」参照)、航空機、およびその他の衛星のデータが複合化され、そのデータが、大気中の CO_2 を調節するプロセス支配する自然法則、地球の気候における CO_2 の役割、および CO_2 循環の解明に役立てられる。

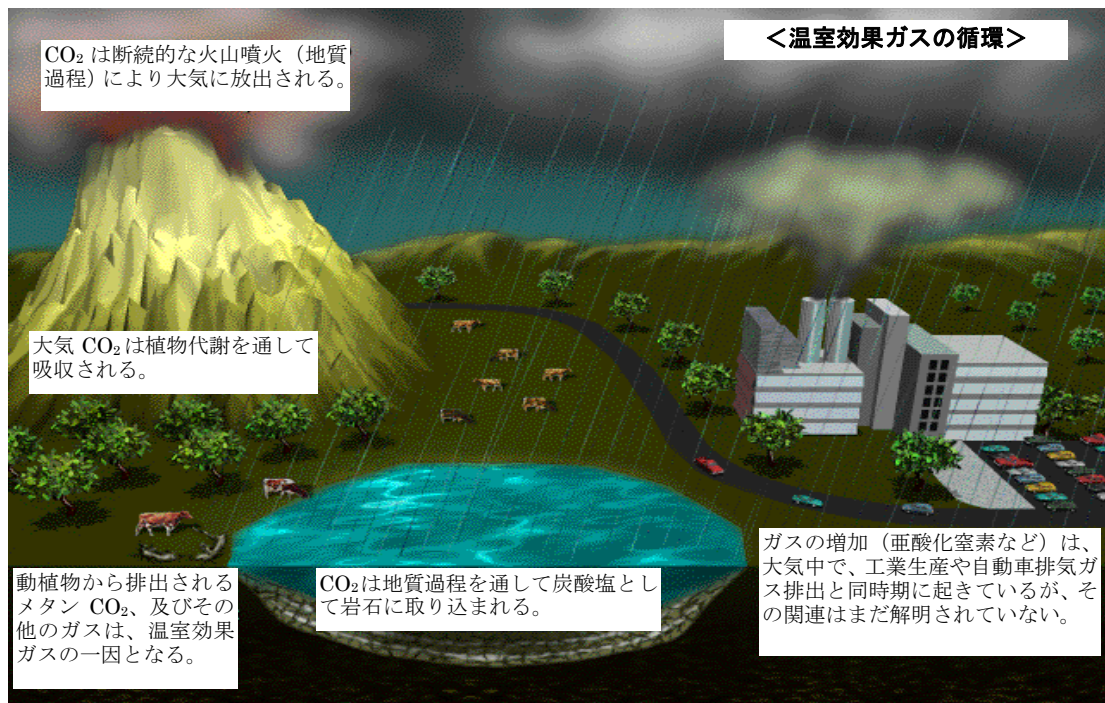


図 2 : 温室効果ガスの循環と気候変動プロセス

(出所 : NASA-JPL-OCO 「Mission」 <http://oco.jpl.nasa.gov/mission/>)

＊補足： (<http://oco.jpl.nasa.gov/mission/> 5 段落より抜粋)

米国エネルギー省(DOE)の二酸化炭素情報分析センター(CDIAC: Carbon Dioxide Information Analysis Center、<http://cdiac.ornl.gov/>)は、炭素循環についての理解を深めるために、世界規模の地上局ネットワークで CO₂ の排出量を追跡・モニターしている。このネットワークは、地球上の CO₂ 分布と、季節による CO₂ の変動について、大変多くの学知を提供している。しかし残念ながら、この世界ネットワークには、大陸規模や海洋盆(ocean basin)規模で CO₂ 排出源と吸収源の空間分布を解明できる地上局が十分に含まれていない。したがって、これらの広範な測定をもってしても、大気圏、海洋圏、生物圏の間における CO₂ 循環の調節プロセスは完全には解明されていない。詳細については CDIAC のウェブサイト(<http://cdiac.ornl.gov/>)を参照されたい。

ミッションから得られたデータの利用

ミッションのデータは、科学者達が、将来の CO₂ 増加に関する予測の不確実性を減らし、気候変動の予測をより正確に行う際に役立つだろう。政策立案者と経済界のリーダー達は、この地球における生活の質(quality of life)を改善する決定を、より十分な情報を得た上で行うために、このデータを利用することができる。

「将来の CO₂ の蓄積ペースの予測と、CO₂ の蓄積で起こる気候変動への迅速な対応の必要性の予測を可能にするためには、現在の大气中の CO₂ を調節しているプロセスを理解することが非常に重要となる」と、NASA の JPL (カリフォルニア州パサデナ)の OCO 研究責任者 David Crisp は話す。

「ほぼ全ての地球システム - 大陸、大気および海洋のプロセス - に関する知識を向上させるためには、OCOのCO₂測定が極めて重要となる」と、NASA地球科学部門(ワシントン)の部門長Michael Freilichは話す。「今回の測定は、放射強制力^{注7}と地球の応答(response)プロセスの知識を精緻化する上で、重要な役割を果たすだろう。」

CO₂濃度と OCO 運用ミッション

大気中のCO₂濃度は、排出源と、大陸や海洋の吸収源の収支により決まる。人間活動 - 特に化石燃料の燃焼と森林破壊(写真2参照)は、地球の炭素循環の収支を狂わせてきた。1750年頃からの産業革命以降、大気中のCO₂濃度は約 280ppm^{注8}から約 385ppmに増加^{注9}した(図3-1、3-2参照)。温室効果ガスの増加が主因となり地表温度が上昇していることは、様々な気候モデルで示されている。

^{注7}放射強制力：「radioactive forcing」、「climate forcing」ともいう。IPCC(気候変動に関する政府間パネル)は1994年の第1次評価報告書で、「対流圏の上端(圏界面)における平均的な正味の放射の変化」と定義し、現在もこの定義が使われている。1750年を基準とし、特に断りがなければ世界年平均値に対する変化を指す。単位は W/m²(ワット毎平方メートル)。正の放射強制力は温暖化、負の放射強制力は寒冷化を起こす。

^{注8} ppm: parts per million

^{注9} %換算で38%の増加。(http://oco.jpl.nasa.gov/mission/ 2 段落目より)



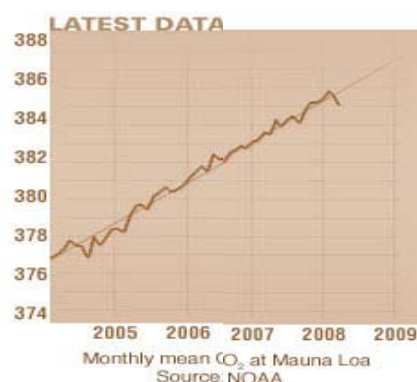
写真2：様々な人間活動により排出されるCO₂

(出所：http://oco.jpl.nasa.gov/mission/)

図3-1：1950年を基準(0)としたCO₂濃度の推移
(1500年～2006年) (出所：IPCC)



図3-2：過去5年間のCO₂濃度の推移
(出所：NOAA)



(図の出所：http://globalclimatechange.jpl.nasa.gov/keyIndicators/index.cfm#CarbonDioxide)

産業革命以降に人間活動により排出された総CO₂量のうち、現在大気中に残存しているのはわずか40%程度である。残り60%のうち約半分は海洋中に吸収されているとみられている。残りの30%は陸上のどこかに吸収されているはずだが、科学者達はいまだにその吸収源の場所の特定や、陸上吸収源の吸収効率を左右している要素の特定すら行えていない。科学者達はこの未知の吸収源を、「ミッシング・シンク (missing sink: 確認できない炭素吸収源)」と呼んでいる。

CO₂濃度は地域や大陸規模で年間10ppmほどではあるが異なっているため、科学者達は今回のOCOによる正確な測定を必要としている。

高分解能分光計の観測への利用

OCOに搭載する予定であった3台の高分解能分光計(high-resolution spectrometer)は、プリズムのように、反射した太陽光を様々な色に拡散させる(図4参照^{注10})。3台の分光

注10 同様に日本の「いぶき」も、世界最高性能を誇る温室効果ガス観測センサを搭載しており、髪一本が抜けたかどうかと同等の小さな変化である、地上からのCO₂排出のわずかな増減を見逃さない。詳細は、宇宙航空研究開発機構ウェブサイト <http://www.satnavi.jaxa.jp/project/gosat/index.html> を参照。

計はそれぞれ異なる狭い色領域に焦点を合わせ、CO₂と酸素分子に吸収された固有色の光を検知する。大気中に存在するCO₂量が少なければ少ないほど、分光計が検知する光量は多くなる。科学者達はその光量を分析することによって、CO₂と酸素分子の相対濃度を割り出すことができる。その後、これらのデータは地球大気のコピュータモデルに入力され、CO₂の排出源と吸収源が定量化される^{注11}。

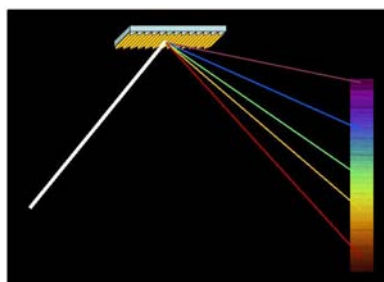


図4：反射した太陽光を拡散する
分光計イメージの「格子スペクトル」

(出所： <http://oco.jpl.nasa.gov/observatory/instrument/>)

OCOの詳細については、以下のウェブサイトを参照されたい：
<http://www.nasa.gov/oco>

翻訳・編集：研究評価広報部

出典：http://www.nasa.gov/home/hqnews/2009/jan/HQ_09-021_OCO.html
<http://oco.jpl.nasa.gov/news/index.cfm?FuseAction=ShowNews&NewsID=34>

^{注11} データの分析および入力について技術的プロセスの詳細は、以下も参照されたい：
<http://oco.jpl.nasa.gov/science/dataproducts/>
<http://oco.jpl.nasa.gov/science/MeasurementApproach/>
<http://oco.jpl.nasa.gov/science/CalibrationOverview/>
<http://oco.jpl.nasa.gov/science/Validation/>

【地球温暖化特集】 極地観測 生態系への影響

極地観測による地球温暖化対策のための基礎研究（ドイツ）

1. はじめに

アルフレッド・ヴェゲナー研究所（Alfred Wegener Institute : AWI）^{注1} が 2009 年から地球環境科学の中心テーマとして、本格的に極地の大陸および海洋を調査研究することになった。ドイツの研究センターであるヘルムホルツ協会（Helmholtz Gemeinschaft）^{注2} に属するAWI は 1980 年に設立された研究機関である。単一の研究所というよりは、ブレーメルハベンにあるAWI本部研究所^{注3} を中心に、ポツダム研究所^{注4}、ヘルゴランド生物研究所^{注5}、シルト海洋研究所^{注6}などを傘下に持つ総合研究機関である。研究費はドイツ連邦教育研究省が 90%を負担し、ブレーメン州が 8%、ブランデンブルグ州とシュレスヴィヒ・ホルスタイン州がそれぞれ 1%を負担している。2005 年の研究所運営費総額は 1 億ユーロで、総人員は 780 名である。

AWIは数多くの国際共同研究を遂行し、欧州各国を中心に、世界の研究機関と連携している。すなわち、世界各国の研究機関や研究船、研究ステーションに研究員を派遣し、逆に他国の研究員を研究調査船「Polarstern（北極星）号」^{注7}やブレーメルハベンおよびポツダムの研究所に招聘している。実際、「北極星号」の搭乗研究者のおよそ 1/4 は国外からの招聘研究員である。

AWIは海洋・氷・大気間の相互作用（物質収支）や、北極および南極における動物と植物の生態を調査し、極地の大陸および海洋の動態を研究する機関であるが、2009 年からヘルムホルツ協会が推進する地球気候システム分野の研究^{注8}に参画し、地球規模の気候変動の研究を中心課題に据えた。その中で、北極と南極および温帯地帯の調査を進める。AWI はドイツにおける極地観測の中心であり、必要とされる機材の準備と極地探査に不可欠な兵站輸送を受け持つ。最近では、これまでの極地研究に加えて北海の調査が加わり、海洋生物調査、海洋汚染調査、海洋成分の自然変化、海洋開発技術へ寄与することになってい

^{注1} <http://www.awi.de/en/institute/>

^{注2} <http://www.helmholtz.de/en/> ヘルムホルツ協会は傘下に AWIをはじめ、電子加速器研究所、プラズマ研究所、癌研究センター、航空宇宙研究所、原子核研究所、原子力研究所、環境研究センターなど 15 の研究センターを有するドイツ最大の研究機関である。職員総数はおよそ 28,000 名で、年間総予算は約 24 億ユーロである。

^{注3} <http://www.awi.de/en/institute/sites/bremerhaven/>

^{注4} <http://www.awi.de/en/institute/sites/potsdam/>

^{注5} <http://www.awi.de/en/institute/sites/helgoland/>

^{注6} <http://www.awi.de/en/institute/sites/sylt/>

^{注7} AWI が所有する最大の砕氷船で、研究室を備えている。極地観測に必要な各種機材の補給も担当する。 <http://www.awi.de/en/infrastructure/ships/polarstern/> AWI はこの他に 5 隻の調査船を所有する。

^{注8} http://www.awi.de/en/research/research_programme/paces_2009_2014/

る。

この報告では、ヘルムホルツ協会の研究プログラムの概要と、AWI の地球温暖化対策を目指した基礎研究の概要を述べる。

2. 研究プログラム「変化する地球環境の中の極地研究：PACES」の概要

ヘルムホルツ協会が 2009 年からスタートさせる研究プログラム PACES は、「Programme Marine, Coastal and Polar System: Polar Region and Coasts in Changing Earth System」の略称である。この研究プログラムは、高緯度地帯における物質収支プロセスが、過去、現在および未来の地球環境の変化にどのように関わっているかを解明することを目指すものである。したがってこの研究では、(1) 北極と南極の動態、(2) 気候や人類活動が、直接的であれ間接的であれ、海岸にどのような変化を与えてきたか、(3) 地球の過去から学ぶもの、(4) 極地観測結果を地球システムモデル構築に役立てる、などが中心テーマになろう。研究プログラムは、これらの 4 件のトピック（テーマに加え、基盤整備や大型施設建設など 2 件のトピックがあり、計 6 件のトピックから構成されている。

これらの目標達成のため、研究プログラムは海岸、大洋および極地研究に必要な既存あるいは新規に開発される高度な研究基盤を有する AWI が中心研究機関となり、物質材料および生物医療の研究機関である GKSS 研究センターも参加する。PACES は地球気候の自然変動と人為的な擾乱、その結果として何が起こったかを観察し、それによって地球温暖化防止のための政治的決断を下すに必要な、基礎的な科学的知見を獲得しようとするものである。

以下では、研究プログラムの中で最初に取り上げられている「北極と南極の変化」の中で 2 件のサブテーマに注目して概要を述べる。

2.1 地球システムにおける氷床の役割に関する研究

このプログラムのトピック-1 は「北極と南極の動態研究」であるが、これはさらに 6 件のワークプラン（サブテーマ）に分かれている。

WP-1 は「地球システムにおける極地氷床の役割」である。このテーマでは、極地氷床が海水面変化に対してどのような役目を果たしているか、過去の気候条件がどのように記録されているか、また極端環境における生命の限界点は何かを調査研究する。

課題と目的

極地氷床は水文学^{注9}的な物質循環における重要な要素である。氷床は全地球の淡水の

^{注9}水文学（すいもんがく）：地球上の水の発生、循環、分布、物理的・化学的性質、自然環境との

2/3 を蓄えており、それは海水面の高さにして 70m の量に匹敵し、地球最大の貯水池である。気候温暖化による氷床群の潜在的な崩壊は氷河流の運動に強く影響を与えるものであるが、氷床表面の物質収支のデータは不確実である。より正確なデータを得るには、大気から氷床を経て、最終的には大洋に至る物質の流れに関する完全な調査研究が必要である。

大気中や雪表面、フィルン^{注10}中における物理的・化学的プロセスが、大気と氷床間の相互作用（物質収支）を支配し、さらなる氷コア研究のためのプロキシ・データ^{注11}を形成している。基底部溶融と再結氷が、氷床と棚氷^{注12}の動態に影響を与える。氷山の分離と崩壊は大洋に影響を与え、その結果、海底に形態学および生物多様性の痕跡が残る。氷コアに関する古気候学的解釈には、氷床の内部構造と動態に対する知識が必要である。氷床の動態に対する氷河底下の水理学システムの役割は、きちんと評価されることが必要である。氷床底下湖^{注13}は古代微生物に対する未知の隔離した生息環境を代表する。

したがって、このテーマでは以下に述べるような課題に取り組む。

- 氷床の物質収支に関する知見を改善することで、海洋水面上昇に対して極地氷床がどれだけ寄与するのかという疑問に答えられるようにする。このためには、氷床と棚氷の安定性に関するより優れた知見が必要である。
- 全地球的に淡水が不足している状況を緩和するために、氷圏における採取可能な水資源を定量化する。
- 南洋水量と深海底生物に対する棚氷の崩壊の影響を評価する。
- 氷床の構造解析、内部構造、表面における実質の物質収支、および大気と氷床底環境との相互作用に関するデータを詳細に観測し、南極大陸における最古の氷コアに残された過去の記録を探索する。
- モデル化と直接測定およびサンプリングによって、氷床底環境における生命の形成を説明し、プロセスを理解する。

関わりなどを研究する地球化学の一分野。

^{注10}南極やグリーンランドの氷床は数十～数百万年の長期間に渡って雪が降り積もることにより、雪自身の重みで圧縮され氷になったものである。その氷の表面部分は、氷になる前段階の通気性のある層となっており、これをフィルン層と呼ぶ。フィルン層内の隙間には深いところほど昔の空気が蓄えられているので、これを分析することにより、過去の大気成分の変動が分かる。

^{注11} 代替指標のこと。たとえば南大洋表層堆積物中に保存されている植物プランクトン由来の有機化合物（バイオマーカー）中の水素同位体比が、地質時代の氷床融解現象を復元するプロキシ・データとなっている

(http://www.kochi-u.ac.jp/marine-core/Members_HP/ikehara/J/study/kibanB/purpose.html)。

^{注12}棚氷（たなごおり。ほうひょう）。海岸線がへこんだ地形のところに流れ出た陸上の氷床は、そのまま海に浮かび、大陸とひと続きの氷原になる。このように氷床が海に浮いている部分を「棚氷」と呼ぶ。洋上にある氷という点では、海氷と似ているが棚氷は陸上で形成され、海氷よりもだいぶ厚くなることがある点異なる。南極のロス棚氷は、52 万 5,000km²もあり、フランス全土の面積に匹敵する。

^{注13} Sub-Glacial Lake。南極大陸の大部分を覆う氷床はその厚さが 3,000m を超えるところもあり、この氷床の下には多数の湖がある。もっとも有名なのがボストーク湖で、現在その湖水面の手前までの掘削が進んでいる。

実行方法

極地の氷床の状態、すなわち幾何学形状や動態、内部構造、表層および基盤における界面交換などは、モデル化と観測を総合して評価されるであろう。ここで観測とは、リモート・センシングや氷コア掘削、その場測定、他のテーマ（WP-2、-3 および-4）と共同で実施する海洋学的繰り返し観察、などを言う。それはまた、棚氷の進化、氷山が海洋へ漂流することによる消滅、ならびにこれら双方が深海底生物に与える影響などの観察も意味している。これは WP-6 における海洋生物学分野の実験とも関連している。

AWI の航空機「北極 5 号（Polar 5）」には、氷と雪を貫通するレーダとレーザ高度計が備えられている。「北極 5 号」は、測地点位置の地上校正のための氷コア掘削、南極大陸東側内陸部での氷床表面における物質収支およびプロキシ・データ作成（Topic-5 および Topic-6）のために必要な兵站輸送支援を受け持つ。気象学的なパラメータの長時間記録は、観測船「北極星号」船上および極地点ステーションにおいて継続的に実行されるが、そのデータは航空観測によって得られる大気温度、トレース気体、エアロゾル、および各種気象パラメータなどで補足される。氷床上の降雨や、トレース物質および安定同位体の蓄積、放射バランスなどは大気と氷の相互作用の重要なプロセスであり、これらも同時に観測される。観測データは、きわめて複雑な数値モデルの入力データとして、あるいはそのモデルの妥当性の検証に役立つ。この数値モデルは、氷床、大洋および大気間の相互作用（物質収支）を記述する高分解能の空間三次元と時間一次元を持った四次元モデルである。氷床、大洋、海氷および大気を統合したモデルを構築し、Topic-4 の研究へ活用するのを究極の目的とするものである。

マイルストーン

- 非構造格子法に基づき大洋と氷床を結合した複合モデルを完成し、変化する気候の下での極地氷の挙動を研究する（5 年）。
- ウェッデル海へ流出する南極氷床の溶融を評価し、その水理学的影響の評価を改善する（3 年）。
- 海底地形、氷厚み、内部構造、雪の蓄積、および固体化した雪の多様性を視覚化するためのフィールド観測（5 年）。
- これまで汚染されていない氷床底湖へ掘削を進めるための、新規のサンプリング技術を開発する（3 年）。

2.2 海洋の温暖化と酸性化に関する研究

このプログラムの中の WP-6 として「海洋の温暖化と酸性化：生物種とその変化が海洋生態系に与える影響」がある。このテーマでは、気候変動が極地海洋生物種へ直接的に与える影響と、その結果としての相互作用と海洋生態系の機能を研究する。

課題と目的

海洋の温暖化と酸性化に対応して、独立栄養生物や従属栄養生物、あるいは石灰化生物と非石灰化生物を問わず、生物種の変化はあらゆる種に見られる。動物はその中でも住む環境によって影響を受けやすく、その結果、生育する外部条件に対して非常に敏感である。近年の生物学に関する分子学的、生理学的小および生態学的なレベルでの学際研究によれば、動物が気候変動へ反応する際の鍵となるメカニズムが明らかになりつつある。気候変動の際の環境順化および適応過程の能力と限界を明らかにし、生態系における種の組成変化を予測するためには、これらのメカニズムに関する更なる研究が必要である。

研究課題は

- ある特定の極地海洋生物とその生態系を選定し、気候に依存する進化過程を詳細に研究する。
- ある特定の生物のライフサイクルの中（たとえば卵、幼虫、成虫など）で、大洋温暖化と酸性化に決定的に敏感な段階を特定する。
- 生物としての挙動と変動に対する感度を決定する生理学的なメカニズムを分析し、機能の柔軟性の点から、このメカニズムが有する順応能力（遺伝子発現能力）を推定する。
- さまざまな種に対して、環境影響と耐性限界を定量化する。

などがあげられる。

実行方法

このテーマは、一般的には北極海および南極海に棲息する種（すなわち、プランクトン、底生無脊椎動物、魚類および哺乳類）の中からあるものを選定し、あるいは最近になって南極リーサ・ラーセン棚氷の底部から発見された底生無脊椎動物、あるいは地球気候変動に対してきわめて脆弱な高緯度地帯の深海珊瑚礁というような、特殊な生態系部門に焦点を当てる。

気温や二酸化炭素などの気候要因が、種と種の間での相互作用や、個々の生物種の性質、種および種の集団の遺伝子的構造を決定することになるが、気候要因に対する反応メカニズムを解明するために、フィールド研究と実験室研究を総合する。それぞれの研究範囲は、現在の変動の影響から過去の気候の変動（Topic-3）までを含むものである。過去の気候変動は生涯成長する硬い構造物におけるプロキシ（安定同位体やトレーサ）の研究を通して、あるいは系統発生ツリーを通して研究される。海洋哺乳類のリモート・センシングは生物学的活動のホットスポット^{注14}を同定し、その動物自身の生物地理学を明らかにする。

マイルストーン

- 様々な極地（半島、ウェッデル海、北極海水）における将来の気候の推移を想定し、

^{注14} 例外的に多数の絶滅危惧種が発見される自然環境を言う。

非生物学実験の設定のための現実的な入力データを作り出す（1年）。

- 長期にわたる実験（たとえば二酸化炭素）のための標準化された方法論と、関連する解析（分子、細胞、生物に関するフィールド実験）（1年）。
- 関連生物種における変動に対する感度を規定する鍵となるメカニズム、それに対応する限界点の特定、および生物の反応と生態系の変化の関連（2～3年）。
- 順化と適応のメカニズム、およびその結果としての集団遺伝子学的構造を記述する概念モデル構築のための要素（4年）。
- 生態系レベルで考察した大洋温暖化と酸性化の複合影響の機構学的モデルの構築（5年）。

3. 連携機関

AWIは多くのドイツ国内研究機関や国外研究機関と連携して極地観測事業を進めている。たとえば国内研究機関としてはブレーメン大学やゲッティンゲン大学、キール大学があり、国外研究機関としては北極・南極研究所（ロシア：サンクト・ペテルスブルグ）やオーストラリア南極研究所（オーストラリア：ホバート）、英国南極調査所（英国：ケンブリッジ）などがある。わが国の国立極地研究所（東京）^{注15}も連携機関の一つである。

あとがき

ドイツの極地研究センターである AWI が、地球温暖化対策のための基礎研究を進めている状況を見てきた。この研究は、温暖化防止のための即効性は期待できないのかもしれないが、地道に世界各国の研究所と連携して進めていることがわかる。

^{注15} <http://www.nipr.ac.jp/>

【地球温暖化特集】 気候変動

地中海の海面上昇に関する予測 (EU)

気候変動と温室効果ガスの増大によって、地中海の水位と水温が上昇するであろうという予測が、スペインと英国の共同チームによって明らかにされた。地中海応用科学研究所 (IMEDEA) と英国サウザンプトンの国立海洋学センターは、3つのシナリオに基づいたシミュレーションとその分析を行った。

その目的は 21 世紀中の地中海の水位、塩分濃度、そして水温を予測することであった。この研究成果は最近、the Journal of Geophysical Research-Oceans紙に掲載された^{注1}。

この研究で用いられた 12 の大気と水の循環モデル (AOGCMs) を基に、科学者たちは温室効果ガスが高度に集積することが、地中海全体の海水温上昇の引き金になると述べている。

この研究の責任者で、スペインのパレアレス諸島大学の Marta Marcos 博士によると、最も楽観的なシナリオの場合、温室効果ガスの集積水準は 2000 年の水準にとどまるが、その場合においても、地中海に何らかの影響をもたらす気候変動が引き起こされるとしている。

最も悲観的なシナリオは世界中の経済成長がそれぞれ異なる形で進展していき、現在起こっている温室効果ガスの増加が 21 世紀を通じてそのまま続くというものである。

最も楽観的なシナリオの場合、地中海の水温は 2099 年末までに、摂氏 1 度分も上昇しない。しかし、他の 2 つのシナリオの場合には、温室効果ガスはこれから数十年の間増え続け、海水温の上昇は 2.5 度にのぼるとされている。科学者によれば、今世紀に入ってから今までの間に、既に海水温の上昇は観測されているという。

海水温の変化やその他の気候変動要因は、長期的には海水面の変動の引き金ともなるであろう。Marcos 博士の説明によれば、地中海全体の海水面の上昇幅は、予測する地球温暖化シナリオの平均値をとるケースにおいて、3cm から 61cm 上昇するであろうと予測されている。

Marcos 博士が指摘しているのは、海岸部における海面上昇現象を理解することは非常に重要であるにもかかわらず、現在の気候変動予測モデルにおける空間解析技術の制約から、十分な分析・把握が困難なことである。そのため、仮に気候が急速に変化したとしても、この地域の気候変動に関する正確な予測をすることは不可能である。

^{注1} “Sea level extremes in southern Europe”

<http://www.agu.org/pubs/crossref/2009/2008JC004912.shtml>

Marta Marcos, Michael N. Tsimplis, Andrew G. P. Shaw

Journal of Geophysical Research Oceans, 15 Jan. 2009

この研究において用いた気候変動予測モデルは、この地域に起こりうる社会経済状況に関する予測を含んだものになっている。

この海域の塩分濃度に関しても、地中海の塩分濃度は上昇するとの予測結果が出ている。ただし、専門家によればこの予測も 100%正確なものではないという。

Marcos 博士と、英国サウザンプトンにある国立海洋学センターの研究者、Michael Tsimplis 博士によれば、地中海の塩分濃度の変化はジブラルタル海峡を通じた大西洋との海水の行き来によって調節されており、一つの要因だけで説明できるものではなく、様々な要因が絡み合うものであり、信頼に足る予測を行うことは困難であるとしている。

彼らは、現在気候変動予測に用いられている IPCC モデルの空間解析能力は非常に低いとしている。Marcos 博士によれば、そのため、IPCC モデルによって地球規模の気候・海洋環境変動の合理的な解が示されたとしても、その結果を個別の地域にあてはめること、すなわち地球規模の解を、気候変動の縮尺を変えて見ることすら、非常に困難なことであるという。

Marcos 博士と Tsimplis 博士によれば、IPCC のモデルは、ジブラルタル海峡にはうまく当てはまらないという。

加えて、IPCC のグローバルなモデルでは、地域ごとにその要因が大きく異なるため、沿岸地域における海水面の上昇を算定することは不可能であるとしている。

科学者たちは、解析力の高い、地域的な気候予測モデルがこの問題点を解決できると信じている。特に、地中海の海峡及び海洋の気候メカニズムがより明瞭に解析できると考えている。欧州の研究者は、この戦略のもと、地域レベルの気候変動の影響予測に研究の焦点をあわせている。彼らは予測が短期間に精度の高いものになると確信している。

ちなみに、本研究の主体となっている地中海応用科学研究所(IMEDEA)は、バレアレス諸島大学とスペイン科学研究高等会議(CSIC)の連携機関である。

参考文献

“Researchers predict Mediterranean Sea level rise”

http://ec.europa.eu/research/headlines/news/article_09_03_19_en.html

European Research, 19 March 2009, European Union

“Sea level extremes in southern Europe”

<http://www.agu.org/pubs/crossref/2009/2008JC004912.shtml>

Marta Marcos, Michael N. Tsimplis, Andrew G. P. Shaw

Journal of Geophysical Research Oceans, 15 Jan. 2009

【地球温暖化特集】 生態系変異 ICT活用

インターネットによる生態系変異予測の可能性（スウェーデン・英国）

きれいな水を供給したり、食物を提供したりといった生態系の機能は、地球上の全ての生命にとって根本的に重要なものである。しかしながら、気候変動や人間の経済産業活動など様々な要因によって、地球環境システムに突然の変化が引き起こされ、これらの機能が脅威にさらされることがある。漁場が崩壊したり、水循環のシステムやサンゴ礁が回復不能なまでに破壊されたりすることは、こうした生態系に起こった変化の一例として、既に観察されているものである。こうした生態系の変化を回避することは、非常に重要なことである。

生態系のモニタリング技術が改善されているにもかかわらず、環境に関する危険を早期に発見し、警告することは、そのためのデータが不十分でない上に、公的機関のモニタリングシステムが相互にうまく連携していないため、非常に限定的にしか行われてこなかった。

ストックホルム大学ストックホルム・レジリエンス・センターの Victor Galaz 博士、Beatrice Crona 博士（米国アリゾナ州立大学多様性研究センターにも所属）、Örjan Bodin 博士（スウェーデン、ウプサラ大学行政学専攻にも所属）、Magnus Nyström 博士（ストックホルム大学環境システム学専攻にも所属）、Per Olsson 博士と英国イースト・アングリア大学国際開発研究科の Tim Daw 博士により、インターネット上に投稿された情報を活用することで、生態系の変異をそれが実際に現れる前に見つけ出す可能性についての試みが議論されている。

サンゴの白化現象のモニタリングの基礎となるリストサーバー

このグループのリーダーであるGalaz博士によると、ICT^{注1}は既存の情報の生成や情報へのアクセスの方法を進化させており、まさに起きようとしている生態系の破壊を早期に見つけ、警告するという重要な役割を、インターネットを通じた情報に対するシステムティックな「データ・マイニング」が果たしてくれるとのことである。

1997年から1998年にかけて、異常な海水温の上昇が、かつてない規模のサンゴの白化を引き起こした。この地球規模の異常気象現象の観測結果は電子メールのネットワークを通じて即座に共有され、通信技術によって、異常事態によって引き起こされた迫りくる脅威に対する速やかな影響評価が可能になったことが明らかとなった。「ウェブ・クローラー

^{注1} Information and Communication Technology の略。IT(Information Technology)に Web コミュニケーションの概念を包含したもの。

は環境モニタリングを進化させることができるか？」^{注2}という、2009年3月にオンラインで発表された記事の中で、Galaz博士はウェブ・クローラーの未だ活かされていない可能性について探った。

ウェブ・クローラーとは、ウェブ上を自動的に、ある検索式に基づいてブラウズするものである。ウェブ・クローラーは生態系のモニタリングのために、オンラインのレポートやデータベースと同様、電子メールやブログ、最新のwebニュースに至るまで、オンライン上のインフォーマルな情報まで、掘り当てることができるのである。Daw博士の説明によると、例えばサンゴ礁を見る場合、生態系の変化そのものだけでなく、例えば世界的な魚介類の市場動向のような、変化の引き金となるような要因に関する情報も、インターネット上で見つけることができるという。

ウェブ・クローラーを使う理由

彼らが最も強調しているのは、生態系の変化に対する情報の分析やそれを基にした対策を行うのは、一国の政府関係者である必要はなく、複数の国家間の、官民の協力によって実行に移すこともできるということである。Galaz博士によると、分析や対策は、その結果がより広範に活用できるものであれば、仮に個々の団体や個人が自発的に行うものであってもかまわないという。この記事の著者は、ウェブ・クローラーを用いて生態系の変動に対する事前予測・警告を行う方法論として、3つのアプローチが考えられるとしている。

- 1) ウェブ・クローラーは生態系の変動の引き金となる要因となる情報を、その結果としての生態系の変化に関する情報よりも優先的に集める。例えば、ある種類の高級魚の需要が急速に拡大した結果、乱獲とそれによる漁場の破壊がおこる場合においては、ウェブ・クローラーを、地域の生態系維持の鍵を握る種類の魚の価格の高騰や水揚げの急増、その地域への漁業投資の増大に関する情報を集めるようにデザインする。
- 2) 確実に言えることではないが、将来的には生態系変化の早期発見・警告システムによって、近々起こる、生態系が時折り示す、迫りくる破壊の兆候を見つけることができるようになる。例えば、魚の個体数の変動が、乱獲に対する生態系の反応として現れるといったものである。
- 3) ウェブ・クローラーは小規模の環境変化についての情報を見つけることができるため、これを他の地域における同様の生態系の変容への対策に応用することができる。この方法論によって、生態系を破壊するような特定の種の生物の大発生や、小規模の個体数の減少や生態系の喪失が相関して発生する大規模な生態系の回復力の喪失の兆

^{注2} “Can web crawlers revolutionize ecological monitoring?”
<http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/070204#aff3>
 2009年 Frontiers in Ecology and the Environment 紙上

候を早期に発見し、警告を発することができる。

ウェブ・クローラーのあるべき姿

スタートが順調であるにも関わらず、Galaz 博士と共著者たちは、生態系モニタリング用ウェブ・クローラーの改善に資するさらなる研究開発の必要性について強調する。クローナ博士によると、ウェブ・クローラーによる早期の発見・警告システムによって、生態系の突然の変異が避けられるようになるためには、さらなる挑戦が必要であるとのことである。

しかし Galaz 博士は、類似のツールを用いて疫病の集団発生を早期に発見したという既存の成功事例、サンゴの白化現象とその兆候に関する情報分析の研究事例が、ウェブ上の情報をより賢明に活用することの重要性と更なる可能性を示している、と結論づけている。

今後の進展

ウェブ・クローラーを用いた生態系モニタリングシステムがどの生態系の、どの事象に対して適応されるべきか等、ICT を活用した環境モニタリングシステムのあるべき姿について、3 月 25 日より 27 日まで英国 Oxford 市で開催される、社会起業家に関するワールド・フォーラム (Skoll World Forum) の 1 セッションにおいてプレゼンテーション及び議論が行われる。

参考文献

“Internet Can Warn Of Ecological Changes”

ScienceDaily Mar. 23, 2009

<http://www.sciencedaily.com/releases/2009/03/090319104033.htm>

“Can information and communication technology help us save the planet?”

Stockholm Resilience Centre, Stockholm University

<http://resilienceinnovation.blogspot.com/>

“Can web crawlers revolutionize ecological monitoring?”

Victor Galaz, Beatrice Crona, Tim Daw, Örjan Bodin, Magnus Nyström, Per Olsson

<http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/070204#aff3>

【地球温暖化特集】**土壌による CO₂ 隔離****気候変動の緩和には土壌の役割が重要（欧州）**

欧州委員会が発表した最新の報告書は、気候変動の緩和に土壌が決定的に重要な役割を果たしていることを示している。土壌は大気中存在する二酸化炭素（CO₂）量の約 2 倍、植物は 3 倍の CO₂ を含有している。欧州の土壌は、約 750 億トンの CO₂ を含有している巨大な CO₂ 貯蔵庫であり、その管理を誤れば重大な結果を招く可能性がある。たとえば、欧州の現存する泥炭湿原を保護し損なえば、車 4,000 万台分の CO₂ 排出量と同量が大気中に追加的に放出されることになる。土壌と気候変動の関連性についての入手可能な最良の情報を統合したこの報告書は、土壌に CO₂ を隔離することの必要性を強調している。CO₂ 隔離の技術は、コスト競争力があり、直ちに入手可能である。新しい、あるいはまだ証明されていない技術を利用する必要もなく、経済の他の部門での気候変動緩和効果に匹敵する効果がある。もし高レベルの CO₂ 隔離を実現するのであれば、土壌保護のためのテーマ別戦略^{注1}に従い、現在進行している土壌の劣化トレンドを逆転させ、また土壌管理の作業を改善しなければならない。

欧州委員会環境委員スタブロス・ディマス氏は、次のように述べた。「適切に管理された土壌は、大気から大量の CO₂ を吸収することができます。我々が排出を削減し、持続可能性に向けて動くための貴重な時間を稼いでくれるのです。しかし欧州における土壌保護の改善は緊急を要しており、加盟国が協力して解決策を見つけなければなりません。私は、2008 年 6 月に行われた欧州委員会の「土壌と気候変動会議」でのメッセージを強化し、我々の進むべき方向を明らかにした、この報告書を歓迎します。」

土壌と気候変動の相互関係

欧州の土壌は、730～790 億トンの CO₂ を含んでいる。このうち約 50% の CO₂ がスウェーデン、フィンランド、英国およびアイルランドの泥炭湿原に隔離されている。土壌は気候変動に非常に大きな役割を果たしている。なぜなら、もし現在隔離されている CO₂ のうち 0.1% でも欧州の土壌から大気中に放出されれば、車 1 億台の CO₂ 排出量に匹敵する量が追加的に放出されることになり、これは車の台数が現在の 1.5 倍に増加するのに匹敵する。反対に、土壌に隔離される CO₂ が 0.1% 増えると、今日の価格で 2 億ユーロの対策費を節約できるのである。

土地の利用方法は、土壌の CO₂ 貯蔵に極めて大きな影響を及ぼす。欧州におけるほとんどの土壌には CO₂ が蓄積されている。草原や森林の下にある土壌は貯蔵庫として機能して

^{注1} Commission proposes strategy to protect Europe's soils, IP/06/1241, 22 September 2006
(<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/06/1241&format=HTML&aged=1&language=EN&guiLanguage=en>)

おり、年間最大 1 億トンの CO₂を隔離している。しかし、耕作地の下の土壌は純排出になっており、年間 1,000~4,000 万トンの CO₂を排出している。草原、管理された山林、あるいは自然のエコシステムが農耕地に転換されると土壌から CO₂が失われ、逆の転換が起これば CO₂は徐々に貯蔵される方向に向かう。

報告書の結論には、読んでいて快適ではないものも含まれている。世界の人口は増え続けているため、これまで以上に草原や山林が耕作地に転換され、現在は CO₂を貯蔵している土壌が純排出エリアへと変わりつつある。世界中で起こっている土壌からの CO₂喪失を防止する最も効果的な戦略は、こうした草原や山林から耕作地への転換を停止することである。しかし、そうすれば世界的に伸び続ける食料需要と対立する可能性がある。

上手な泥炭の管理が鍵

報告書は、CO₂の含有量が多い土壌の保護の重要性を強調している。31 万 km²（フランスの国土の約半分の面積）の地表を覆う原始泥炭地が、農業、林業、都市化あるいは浸食のために失われつつある。残っている泥炭地の半分以上も乾燥しつつあり、農業だけで年間 3,000 万トン以上（車 4,000 万台の CO₂排出量に匹敵）の CO₂貯蔵量が失われるという結果をもたらす可能性がある。土壌の CO₂貯蔵を維持、向上するための最も現実的な選択肢は、こうした土壌を保護することである。そのほとんどは欧州北部にある。

農作業の改善が必要

土壌管理の習熟は CO₂の貯蔵に非常に大きな影響を与える。報告書は、CO₂貯蔵量喪失を最小限に留めるために、穀物および穀物残渣のレベルでどのように農作業を改善し得るかについて対策を明確に示している。また、永久に植物で覆い、浅く耕す農法を用いて、機械の使用を少なくすれば、土壌は水や雨から確実に護られるのである。こうした作業の改善により、欧州の土壌で、年間 5,000 万~1 億トンの CO₂が隔離できる。

モニタリングの強化

土壌に含まれる CO₂や、含有率のトレンドに関する欧州全域に渡るデータが欠落していることが、分析するに当たり支障になった。従って、来るべき気候変動緩和のための合意に向けた協議で、土壌がより重要な役割を果たすということを証明するために、直ちに土壌の CO₂貯蔵とそのトレンドに関するモニタリングを強化することが必要である。

阻止された法制化

欧州委員会は、欧州議会の支持を得て、欧州の土壌を保護する目的で 2006 年に法案を提出した。しかし、5 ヶ国の反対により、現在理事会で法案成立が阻止されている。

詳細な情報

- ① 報告書 "Review of existing information on the interrelations between soil and climate change" について :

http://ec.europa.eu/environment/soil/publications_en.htm

- ② 土壌と気候変動会議(2008 年 6 月)について :

http://ec.europa.eu/environment/soil/conf_en.htm

- ③ 土壌保護のためのテーマ別戦略について : Questions and answers on the Thematic Strategy on soil protection, MEMO/06/341, 22 September 2006

(<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/06/341&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=fr>)

- ④ 欧州の土壌について: http://ec.europa.eu/environment/soil/index_en.htm

翻訳 : 吉野 晴美

出典 : Climate change: Commission dishes the dirt on the importance of soil

(<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/09/353&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>)

【地球温暖化特集】**スウェーデンの地球温暖化対策の現状****経済成長と温室効果ガス削減の両立**

スウェーデン環境省は昨年 12 月、「低炭素社会へ向けて(Towards a low carbon society)」と題された文書を発表した(出典 1 参照)。この中で同省は、気候変動が発生していることは紛れもない事実であり、温室効果ガス排出量を、人間にも環境にも悪影響を及ぼさないような水準に維持しなければならないと指摘しつつ、フレデリック・ラインフェルト首相の率いる中道右派現政権の 2010 年までの任期において、気候問題が最重要課題であると政府が認識している点をアピールしている。以下、主として本資料に基づき、地球温暖化に対する同国の取り組みを簡単に紹介する。

本資料の冒頭では、地球温暖化という世界規模の問題が出現し、世界中のあらゆる国が対策をとるように求められている今日、スウェーデンが、再生可能な資源に基づきつつ、環境という観点から見ても健全なカタチで高い成長率を達成することを通じて、世界における先進的なロールモデルとしての役割を果たしたいとの意思が表明されている。一方、昨秋、国会に提出された予算案によると、気候変動およびエネルギー関連分野に対し、2009 年から 2011 年までの 3 年間で、合計 70 億スウェーデン・クローナ(以下 SEK)の政府支出が予定されている(出典 2 参照)。

1970 年代半ばより同国は、エネルギー源を原油からバイオ燃料などの化石燃料以外の資源へと大胆にシフトさせることで、温室効果ガス排出量の 4 割削減を既に達成している。実際、エネルギー供給に占める原油の割合は、1970 年に 70%だったのに対し、現在では 30%にまで低下している。その一方、再生可能エネルギーの割合は、過去 10 年にじりじりと増加し、1994 年に 22%だったのが現在では 28%となっている。この伸びの大半は、バイオマス利用の拡大によるものである。とりわけ、同国の暖房市場の 40%を占める地域暖房において、原油由来燃料が 1970 年には主たるエネルギー源となっていたのに対し、現在ではエネルギー源全体の数%を占めるに過ぎなくなった一方、バイオマス・エネルギーが 62%を占めるまでになった(出典 3 参照)。

なお、1990 年から 2006 年までの温室効果ガスの削減量は 9%であったが、同時期に GDP はプラス 44%という大幅な伸びを記録した。また、2007 年の一人あたり GDP は、49,821 ドルで世界第 7 位であった。それに対して日本は、同時期の GDP の伸びが 20%台にとどまり、2007 年の一人あたり GDP が 34,226 ドルで世界第 21 位であったことを考えると、金融危機発生以前の数字であるとはいえ、スウェーデンが温室効果ガス排出量を削減しつつも着実な成長を達成していたことが理解される(出典 4 参照)。

経済成長を犠牲せずに温室効果ガスを削減するにあたって特に大きな効果を発揮したのが、1991年の二酸化炭素排出税の導入だったと環境省の資料では指摘されている。しかしながら、依然としてやるべきことが数多く残されているとしたうえで、現在行われている政府による取り組みが以下のように紹介されている。

現在進行中の取り組み

気候関連の研究への政府による大規模な投資が実施されている。主たる研究対象は、気候モデル、天然資源への影響、生態系管理および生物多様性、天然資源の持続的利用、以上からなる戦略的領域である。

スウェーデンでは、これまでのところ風力の利用が遅れており、発電に占める風力の割合は1%未満にとどまっているが、2015年までにこれを大幅に拡大し年間10TWhの発電量を達成するとの目標がすでに示されている(出典3参照)。このため政府は、風力利用についての障害の排除、関連知識の普及、計画のあり方の改善、計画実現までの期間の短縮などを通じて、風力利用の促進を図るとの意図を明らかにしている。その様な取り組みのひとつとして、風力利用に関する全国ネットワークの設立が予定されている。設立目的は、風力に関する知識の普及や情報提供において各地域で核となっている組織をサポートし、風力を利用して地域が経済成長を実現するチャンスを後押しすることである。また、政府が風力利用を強力に推進するのに伴い、「環境にとって危険な行為」の許可申請および不服申し立ての審査、ならびに損害賠償請求などの紛争処理を行うことを目的に全国5ヵ所に設置されている環境裁判所の事務手続き量が増大するのではないかと予想されている(出典5参照)。これに対応するため、2年間にわたり、年1,000万SEKの予算が裁判所へ割り当てられているほか、全体としては2009年から2011年の3年間で1億5,000万SEKの予算が風力利用に割り当てられている。

持続可能な都市およびコミュニティの実現に向けた対策が実施されている。これは、国、民間部門、地方自治体の3者が全国的な枠組みの中で手を携えることを通じて、持続可能な住宅に関連する最先端の技術をPRできるようなモデル地域をスウェーデン国内に設置することを狙いとするものである。

研究開発から商業化へのステップをより容易にするための追加的な資金助成が実施されている。予算額は8億7,500万SEKで、この措置により、商業的なブレイクスルー寸前にある自動車および発電などのエネルギー関連技術や、第二世代バイオ燃料の実証用施設への投資が可能となる。

2009年から2011年にかけて、市場にまだ根付いていないバイオガスや太陽電池などのエネルギー関連技術への助成として3億3,900万SEKの追加的な資金が配分されている。

「グリーンカー」の新たな購入者に1万SEKを払い戻す制度が2007年3月に導入済みである。この制度は、高燃費の自動車および代替燃料自動車に対する需要を喚起することを目的とするもので、2009年度には3億2,900万SEKの予算が充てられている。この場合のグリーンカーとは、二酸化炭素排出量が120g/km未満のガソリン車およびディーゼル車、燃料消費がガソリンで0.92ℓ/10km、ディーゼルで0.84ℓ/10km、天然ガスで0.87m³/10km未満でガソリンやディーゼル以外の燃料でも走行可能な代替燃料車、電力消費が3.7kWh/10km未満でMk EL規格に合致する電気自動車のことを指す。なお、今月に入ってから、グリーンカーに対する自動車税を当初の5年間にわたり免除する一方、それ以外の自動車に対しては排出される二酸化炭素1gあたり自動車税を5SEK引き上げること、重量物運搬車および大型バスに対する自動車税を軽減すること、ディーゼル燃料油に対するエネルギー税を2013年までに1ℓあたり0.40SEK値上げすることがエネルギーおよび気候関連法案に盛り込まれると発表された(出典6および7参照)。

国際協力

スウェーデンはまた、温室効果ガスの削減および持続的な成長の達成を目的に京都議定書で規定されたプロジェクト型メカニズムの推進へ積極的に取り組んでいる。すなわち、先進国間の技術支援や資金支援により達成された温暖効果ガス削減量をそれぞれの国に再配分するシステムである「共同実施」(Joint Implementation)、先進国から途上国への技術移転や資金提供により達成された温室効果ガス削減量を提供元国の削減量に組み入れる制度である「クリーン開発メカニズム」(Clean Development Mechanism)の両プロジェクトである。

なかでも、気候変動に対処するための長期にわたる世界的な取り組みにおいては、発展途上国との協力体制の確立が極めて大きな位置を占めていることから、政府は、温室効果ガス削減および持続可能な成長の推進を可能にするような途上国でのプロジェクト助成に対し、2009年から2011年の3年間で7億8,800万SEKの予算を配分している。この予算は、2国間プロジェクト、あるいは多国間プロジェクトという形態で執行される予定である。その際、助成対象となるのは、削減効果の高いプロジェクトや、他の手段では実現不可能なプロジェクトに限られる。

さらにスウェーデン政府は、気候変動と経済開発に関し、新たな資金拠出パッケージを用意している。これは、気候変動に関連した開発援助への追加措置として実施されるもので、2009年から2011年の3年間に41億SEKの予算が割り当てられている。環境問題に関する2007年度の開発援助額は10億SEKであったことと比べると大幅に増加している。

このような巨額の資金拠出の根拠としては、2000年のミレニアム・サミットで採択されたミレニアム宣言や様々な国際会議での議決内容を統合した「ミレニアム開発目標」を達成するにはまず、気候変動問題への対処が不可欠である点が挙げられている(出典8参照)。

そのうえで、気候変動に起因するリスクを軽減することや、長期的な開発計画に気候変動への対応策を盛り込むことなどといった、最貧国による気候変動への取り組みをサポートすることがこの開発助成パッケージの主たる目標であると解説している。さらに、先進的な技術の普及やエネルギー効率向上策の推進、森林再生を通じた途上国における温室効果ガス排出量の削減も意図していると説明されている。

気候変動と開発に関する委員会

2007年、政府によって「気候変動と開発に関する委員会(The Commission on Climate Change and Development)」が設置された。本委員会は、外務省からの予算で運営されるが、その活動は、外務省とは独立したかたちで行われる。会長を務めるのは、Gunilla Carlsson 国際開発協力相で、気候変動への対処と経済発展とをいかに結びつけていくかという点を主たるテーマとして活動している。上述の途上国への援助を執行するのもこの委員会の役割である。なお、2009年7月に予定されているスウェーデンのEU議長国への就任、および12月のコペンハーゲン国連気候変動会議を見据えつつ、5月には、最終報告書が提出される予定である。

委員会は現在、気候変動への対処および自然災害リスクの軽減について検討を行っており、以下の3点についての政策提言を行う予定である。すなわち、自然災害に対して脆弱なコミュニティや地方の災害からの回復力の向上、気候変動に上手く対応するための組織面および財政面での仕組みの確立、新たな財源の活用のあり方である。

出典

- (1)スウェーデン環境省発表資料、2008.12

<http://www.sweden.gov.se/content/1/c6/11/66/69/f7b9ac55.pdf>

- (2)スウェーデン政府発表資料、2008.9

<http://www.sweden.gov.se/content/1/c6/11/26/05/34d32a7d.pdf>

- (3)“Energy Policy” (企業・エネルギー・コミュニケーション省発表資料)、2004.4.25 発表、2009.2.26 更新

<http://www.sweden.gov.se/sb/d/2112/a/19594>

- (4)国際貿易投資研究所 国際比較統計 2008.9.26

<http://www.itii.or.jp/stat/4-004.pdf>

- (5)篠原一正、石橋亮「環境先進国スウェーデンの一端など」

http://www.soumu.go.jp/kouchoi/substance/chosei/pdf/report/report_43_3.pdf

- (6)スウェーデン財務省、環境省、企業・エネルギー・コミュニケーション省プレスリリース、2009.3.10

<http://www.sweden.gov.se/sb/d/11760/a/122175>

- (7)スウェーデン環境省プレスリリース、2007.3.30

<http://www.sweden.gov.se/sb/d/8202/a/79866>

(8)外務省ホームページ資料「ミレニアム開発目標 (Millennium Development Goals : MDGs)」

<http://www.mofa.go.jp/Mofaj/gaiko/oda/doukou/mdgs.html>

【地球環境特集】 二酸化炭素削減と鉄道

CO₂削減に向けた国際鉄道連合(UIC)の主張(欧州)

－「持続可能な社会に向けての列車が発発する」－

運輸セクターは、温室効果ガスの主要な排出源の一つであり、化石燃料起因の全排出の25%以上を占める（国際エネルギー機関(IEA)統計より）。他の多くの産業部門が温室効果ガスを抑制する事が出来たのに対し、運輸セクター全体では逆に排出を増加させている。

こうした中で、国際鉄道連合(UIC)^{注1}は従前よりCO₂排出削減を含む地球環境上の懸案に対して鉄道が貢献する重要性を強調している。本稿では、UICの発言の一端を紹介する。

UICは、1922年に設立された世界の194の鉄道事業者や設備関連業者等によって組織される国際的な業界団体で、本部はパリにある。日本から、JR各社のうち、いずれも新幹線を自社路線として有する事業者である東日本・東海・西日本・九州の各旅客鉄道会社並びに日本貨物鉄道(JR貨物)、及びJRグループの研究開発機関である鉄道総合技術研究所(鉄道総研)が加盟しており、2009年4月より、UIC会長にJR東日本副会長の石田義雄氏が着任する^{注2}。

UICは、世界レベルでの鉄道利用の促進とともに、快適な輸送と持続可能な社会生活との両立を社会的使命として掲げている。そのための基本的な活動方針の一つとして、鉄道と地球環境との両立のための取り組みを行っている。

2007年のCOP13^{注3}においては、UICは日本の(財)運輸政策研究機構等と共に、題して”Getting the Climate Right for Transport”という、自動車を含めた広く交通の分野でのあるべき温暖化対策についてパネルディスカッション等を催した^{注4}。この際に発表された主催者による共同声明では、農村部と都市部の人口比が逆転した今、(南北両極等での温室効果ガスの集積だけではなく)、交通分野からの温室ガス排出に対処する事は、都市部に住む人間の責任である、と強調している。

^{注1} 国際鉄道連合（仏語：Union Internationale des Chemins de fer (UIC)－英語：Union of International Railways Union）

^{注2} 詳細は、2008年12月11日付UICプレスリリース http://www.uic.asso.fr/compresse.php/cp312_en.pdf を参照。

^{注3} 第13回国連気候変動会議。COPとは「締約国会議」(Conference of the Parties)を意味し、気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書によって、条約加盟国が意思決定を行う最高機関として設置された。

^{注4} UICウェブサイト <http://www.uic.asso.fr/uic/spip.php?article939>、及び運輸政策研究機構ウェブサイト http://www.jterc.or.jp/koku_semina/kikouhendou.htm を参照。

2008 年にポーランドのポズナニにて開催されたCOP14 では、UIC、UITP国際公共交通連合^{注5}、CER^{注6}の三者は、今回で 6 度目となる国連気候変動会議への出席を果たした。COP14 において、三者は共同主催の展覧会のみならず、英国交通研究所^{注7}及びドイツのGTZ(Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit : ドイツ技術協力公社)^{注8}という、交通関連について研究を行っている他の 2 つの団体と、交通に関する非公式なディスカッション・フォーラムを主催した。主催者の他に、世界銀行や欧州委員会からの参加者の同席のもと、多くの人々が傍聴した「異なる社会システムの下での低炭素な公共交通」と題するこのイベントでは、運輸セクターから排出されるCO₂を削減するためには何が可能かという事について、議論が行われた。

UIC の持続可能な開発に関する上級顧問を勤める Magrethe Sagevic 氏は、鉄道は地球温暖化に対する解決策の一つであり、持続可能な交通システムを開発するに当たって、鉄道と公共交通の優位性はより強調されて然るべきであると、明快なメッセージを発した。同時に、Sagevic 氏は現在進行中のエネルギー効率の向上や排出削減等に関する数多くの活動を紹介した。こうした活動の一例としては、日本の JR 各社に相当するドイツ鉄道(DB)は、新型通勤車両(写真 1)の導入によって、旧型と比較して CO₂排出を 56%削減した例が挙げられる。



写真 1 : DB 導入の新型通勤車両 423 型 (左は、置換対象の旧型車両)。

(出所 : http://www.uic.asso.fr/homepage/railways_and_the_environment09.pdf)

また、CERの環境に関する顧問を勤めるMatthew Ledbury氏は、欧州連合(EU)による排出量取引(EU Emission Trading Scheme : ETS)の枠組み^{注9}に航空セクターを引き入れる事は、運輸セクター全体がCO₂排出を削減するに当たっての第一歩に過ぎず、セクター

^{注5} UITP: Union Internationale des Transports Public(仏語)。英語では International Union of Public Transport。90 カ国、3,100 に及ぶ公共交通関連当局、事業者、研究機関及び設備関連業者が正式メンバー。<http://www.uitp.org/>を参照。

^{注6} CER:Community of European Railway and Infrastructure Companies。在欧 72 の鉄道事業者や設備関連業者が正式メンバーの業界団体。なお、JR 東日本は、旧ソ連グルジアの国鉄とともに、欧州域外の鉄道事業者として例外的に、CER にパートナー会員の資格で加盟している。<http://www.cer.be/>を参照。

^{注7} ポータルサイト URL : <http://www.trl.co.uk/>。

^{注8} ドイツにおいて、発展途上国向けの技術援助を担当する公的機関(英語版ポータルサイト URL : <http://www.gtzt.de/en/>)。

^{注9} その概要と成り立ちについて、「欧州連合の排出権取引(EU ETS)の動き」NEDO 海外レポート No.965 号(2005.10.19 発行)を参照。

全体がCO₂排出を現状より削減するには、外部不経済^{注10}を解消するといった、気候に与える影響に対処するための、各々の運輸形態に共通した他の政策が必要となると指摘した。

さらに、UTIPの持続可能な開発に関する部長級の職にある Heather Allen 氏は、人間の行動を変化させる事が、真に環境に優しい公共交通を可能にする技術的手段が現われる前に、短期的かつ中期的に現状より CO₂を削減する一助となる、と強調した。

短期的には、鉄道は現状のままでも^{注11}、モーダルシフトのニーズに一部ながら対応することが出来るものの、もし我々の社会が、鉄道が提供する環境面で持続可能な目的地への移動という便益、を十二分に享受しようとするならば、長期的には、必要な設備投資を欠かすことができない。具体的には、地球環境への配慮と利便性を両立させる鉄道システムとして、日本の新幹線に相当する高速鉄道の建設が挙げられる。最近整備された高速鉄道の一つであるスペインのAVE (写真 2)は、毎年おおよそ 48,000 トンものCO₂を削減する事に成功している^{注12}。



写真 2：スペインの新型高速鉄道 AVE
(出所：http://www.uic.asso.fr/homepage/railways_and_the_environment09.pdf)

鉄道及び公共交通に関係する諸団体は、“Keep Kyoto on the Track”(「京都議定書を軌道から逸脱させないようにしよう」)^{注13}の掛け声の下、気候変動への対策に関する諸会合の場で公共交通の重要性について理解を浸透させ、未来における持続可能な公共交通システムの構築に必要とされる資金提供を、鉄道及びその他の公共交通機関に促した。これらの取り組みは、鉄道及び公共交通関連の諸団体に、それぞれ公共交通と気候変動の専門家同士がネットワークを形成させ、その下に結集するに当たって鍵となる役割を果たした。

^{注10} 企業等の経済活動が、その経済活動に関わりの無い第三者に負の影響を与える事。なお、EUによるエネルギーに関する具体的な外部不経済の数値化に係わる試みに関して、「エネルギー外部費用の算定」NEDO 海外レポート No.967 号(2005.11.16 発行)を参照。

^{注11} 欧州における公共交通に占める鉄道のシェアは、6～10%である (2008 年 1 月発行 UIC パンフレット“Rail Transport and Environment : Facts & Figures”(http://www.uic.asso.fr/homepage/railways&Environment_facts&figures.pdf)を参照)。

^{注12} (2009 年 1 月発行 UIC パンフレット“Railway and the Environment”(http://www.uic.asso.fr/homepage/railways_and_the_environment09.pdf)12 ページを参照)。

^{注13} UIC 等が COP9 以来行なっている、気候変動枠組条約(UNFCCC)に関する本協議と一体をなす公式な付随会合等の活動の総称

今回の「異なる社会システムの下での低炭素な公共交通」における聞き手の中には、UNFCCCに関する本協議の中でCO₂削減と鉄道との関連について取り上げられるのを支持する、公共交通及び気候変動の専門家が何人か含まれていた。

2009年のCOP15は、北欧デンマークのコペンハーゲンにて開催される。この場では、気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書に取って代わる国際規範が合意される予定となっている^{注14}。UIC等鉄道業界を代表する関係諸団体は、現在「コペンハーゲン行きの列車」と称して、多くの政府代表に対して持続可能な公共交通についての理解を促す事を目的とした周知キャンペーンを行っている^{注15}。

出典：http://www.uic.asso.fr/compresse.php/cp311_en.pdf

翻訳・編集：篠田 建一

^{注14} 京都議定書では、2012年までに新たな温室効果ガス排出削減に関する法的枠組みを設定する事を定めている。

^{注15} 具体的には、ポスト京都の法的枠組みに、発展途上国がこの問題に取り組むに当たっての指針や、途上国に持続可能な交通ネットワークの構築を促す資金援助のメカニズムの構築、さらに先進国に対する直近の削減目標値の設定や、各国に固有の事情を反映させた途上国によりクリーンな開発を迫る事を可能にする政策が盛り込まれるべき、とする（COP13 サイドイベント”Getting the Climate Right for Transport”主催者共同声明(UIC ウェブサイト <http://www.uic.asso.fr/uic/spip.php?article939>)を参照）。

【個別特集】 水素インフラ 燃料電池

水素関連インフラの整備状況（欧州）

本稿は、NEDO海外レポート 1041 号（燃料電池・水素特集号）で取り上げた記事「水素関連インフラの整備状況（米国・カナダ）」^{注1}の後編であり、欧州の状況、スマートグリッドやマイクロCHP、産業用燃料電池・水素について取り上げる。

1. 欧州

北米以外で設置されている水素ステーションの半数以上が欧州に設置されている。2007年時点では、ドイツで稼働中のステーションが 20 カ所、欧州の他の国で稼働中のステーションが 15 カ所であった。Fuel Cells 2000 のリストによると、2008 年末時点で、ドイツのステーション数は 26 に増加した一方、欧州の他の国のステーション数は 31 へとほぼ倍増し、さらに計画中のステーションは 23 である。Linde AG 社（水素及び水素製造設備の欧州大手の供給会社）は、燃料電池(FC)インフラが実用的であるためには、欧州でステーションが 2,800 カ所必要との試算を出している。

水素は様々な原料から製造されるが、殆どの場合温室効果ガス排出量を削減できないのではないかと、実際には排出量が増加するのではないかと、疑問を呈する専門家もいる。水素の製造方法は様々なステーションでテストされる予定である。製造方法として、太陽光発電／風力発電／原子力発電からの電力による水の電気分解や、石炭ガス化を利用した改質などがテストされる。様々な原料から生産されるバイオ燃料（例えば、近年人気の投資金融商品である藻類から生産するもの）は、水素燃料電池向けの様々な原料の一つである。

1.1 スカンジナビア水素ハイウェイ

「スカンジナビア水素ハイウェイ・パートナーシップ(SHHP: Scandinavian Hydrogen Highway Partnership)^{注2}」は 3 つの国家プログラム（HyNor（ノルウェー）、Hyfuture（スウェーデン）、Hydrogen Link（デンマーク））をリンクさせることを目的として 2006 年に設立された。SHHPの中で最初に建設予定の水素補給ステーションは、ノルウェー南部の沿岸からスウェーデン西部の沿岸を南下し、デンマーク各地とドイツに建設される。デンマークで稼働中のステーションは 6 カ所、計画中のステーションは 9 カ所ある。最初の目標はまず、2012 年までに水素ネットワークを作ることである。次の目標はスカンジナビアの他の地域にもステーションを配備することである。2007 年 5 月、SHHPは経験と最優良事例をカナダBC州水素ハイウェイ(British Columbia Hydrogen Highway)と共有することをめざし、覚書(MOU: memorandum of understanding)に署名した。二つのグルー

^{注1} <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1041/1041-06.pdf>

^{注2} <http://www.scandinavianhydrogen.org>

ブは、規格に合意し製品の仕様を調整することにより、燃料電池技術と製品がより容易に民間に受け容れられることを期待している。

Hydro 社（旧 Norsk Hydro 社）は、ノルウェーのポルスグルンに水素補給ステーションを開設した。これは HyNor 水素ハイウェイの下で計画されていた 5 カ所のステーションの内の最初のものである。HyNor プログラムでは、オスロから、ドランメン、ポルスグルン、Lyngdal を経てスタバングルまで 580km（360 マイル）の水素回廊が形成されている（「Hydrogen & Fuel Cell Letter」誌の 2007 年 7 月の記事参照）。この新ステーションでは、Quantum Fuel Systems Worldwide 社（カリフォルニア州アーバイン）がトヨタのハイブリッド車「プリウス」を水素内燃エンジン用に改造した車両 9 台に燃料が供給されている。Hydro 社は、Quantum 社の株を 19.9%保有しているゼネラル・モーターズ(GM)社と戦略的協力関係にある。同ステーションの運用は Miljobil Grenland 社が行う。水素は Rafnes 町の近郊にある塩素製造プラントの副生物として製造される。2008 年末時点でノルウェーで稼働しているステーションは 2 カ所であるが、計画中のステーションは 6 カ所であった。

Hyfutureプログラムでは、スウェーデン西部の沿岸を車でマルメーまで南下し、デンマークまで運転するのに十分な数の燃料補給ステーションが建設される。水素は石油化学プラントの副生物である。スウェーデンの自動車産業の殆どはこの地域にある。このプログラムの詳細は、他の二つのプログラムよりは具体性に乏しい^{注3}。2008 年末時点にスウェーデンで稼働中のステーションは 2 カ所、計画中のステーションは 1 カ所である。

1.2 デンマーク

Hydrogen Link プログラムでは最大で 15 カ所の水素補給ステーションが計画されている。2007 年 7 月、デンマーク政府は「エネルギー計画 2025(A Visionary Danish Energy Policy 2025)」の一環として、水素自動車に対する税額控除を行うことを発表した。新たに設定された目標には、2025 年までに総エネルギー消費量の 30%を再生可能エネルギー源で賄うこと、2020 年までに輸送燃料の消費量の 10%をバイオ燃料で賄うことなどが含まれている。風車と低エネルギー消費建物も同エネルギー計画（2007 年から 2010 年までの研究開発予算：1 億 6,000 万ドル）の一環である。デンマークは世界の主要な風力発電技術の供給国である。最初のステーションの建設はホーブロに予定されていたが、現在もまだ計画段階に留まっている。ホーブロの後には、2007 年末までに、ホルステブロ（稼働中）、Ringkøbing（未開設）、Hvide Sande（未開設）へのステーション建設が予定されていたため、試験用燃料電池車 7 台と補給ステーション 6 カ所を支援するために必要な資金を調達する試みがなされた。Sydthy にある Nordic Folkcenter は、燃料電池試験用の水素製造の実現を目指して、既存の風力発電電力を利用した水素製造設備をアップグレードす

^{注3} <http://www.hyfuture.eu>

る計画を立てた。現在アップグレードは完了し、稼動中である。デンマークには総計で、稼働中のステーションが6カ所、計画中のステーションが9カ所ある。

他の興味深い取組みは、デンマークの町村における様々な再生可能エネルギー源を利用した水素インフラを構築する取組みである。ロラン島水素コミュニティ(Hydrogen Community Lolland)は、燃料電池を利用するコミュニティ水素試験プロジェクト(全3フェーズから成る)である。2007年の第1フェーズでは、風力発電もしくはグリッドからの電力を用いて水の電気分解を行い、水素を製造する目標が立てられた。風力は間欠的な再生可能エネルギー源であるが、風力発電電力を水の電気分解に利用することで、エネルギーを水素と酸素の形で貯蔵でき、必要な時に使用することができる。この第1フェーズでは、発電電力と熱の大部分が廃水処理設備で使用される予定であった。2007年後期の第2フェーズでは、ナクスコウ市の既存の住宅10軒に、マイクロ CHP(熱電併給)エネルギー変換装置を設置し、新しい水素ネットワークに組み入れた。

2008年の第3フェーズでは、農村部の住宅25軒を水素コミュニティに組み入れることを目標としていた。これにより、システム評価のための基礎データが得られ、見学者は実証例を見ることができる。プロジェクトは、2012年まで実施される予定である。デンマークエネルギー庁、燃料電池開発会社のIRD A/S 社(デンマーク、スベンボル)、および LOKE Holding A/S 社(ナクスコウ市が設立した持ち株会社)が資金援助を行い、再生可能エネルギーおよび省エネ技術に関連する地域イニシアティブを支援する。その他の参加企業には、Danfoss A/S 社(燃料電池のアクチュエータとバルブの大手供給会社)、DONG Energy A/S 社(デンマーク、フレデリシア:ナクスコウ市およびデンマーク最大のエネルギー会社が所有している、風力発電技術の提供会社)、SEAS-NVE 社(デンマーク、Svinninge)、Danttherm A/S 社(デンマーク、スキーベ)、Topsøe Fuel Cell A/S 社(デンマーク、Lyngby)などがある。

ロラン島のプロジェクトの成功例の一つは、世界中の類似コミュニティに向けて、成果を拡大する努力を行ってきたことが挙げられる。多くの政府が温室効果ガス排出量の低減や、再生可能エネルギー源への転換を目標に掲げてきたが、多くの場合、その実施に苦労してきた。大きな教訓の一つは、認可の手続きをいかに迅速化するかである。例えば、ロラン島の場合、以前は3~4年かかった認可取得が現在では3~4ヵ月まで短縮されている。水の電気分解による水素製造に関して、その他の興味深い点は、そこで得られる酸素も廃水処理設備用に役立てることができることである。報道によると、水素、酸素のパイプラインや電力ケーブルは、意図的に地上に建設される予定である。これは、実証プロジェクトを一般市民と見学者が目で見ることができるようにすることを目的としている。

2005年の水素燃料電池国家戦略(2005 National Hydrogen & Fuel Cell Strategy)の一環として、デンマークエネルギー庁は、水素経済の創設のために初めて2億ドルを資金提

供すると発表した（燃料電池の年間開発費 3,300 万ドル、水素自動車に対する課税の撤廃を含む）。パイロットプログラムは、一連の水素補給ステーションの建設・検証を行ってきた（FuelCell Today、2007 年 1 月 22 日の記事も参照されたい^{注4}）。

1.3 ドイツのリーダーシップ

稼働中の水素補給ステーションは、ドイツが最も多い。様々な自動車製造業、石油会社、及び産業ガス会社が水素製造を支援し、様々な方法で水素を製造している。幾つかの企業（Aral 社、BMW 社、BP 社、ダイムラー(Daimler)社、フォード(Ford)社、MAN 社、Opel 社、Linde AG 社、Hydro 社など）は、ベルリンの標準的な石油補給ステーションを水素補給ステーションに変える取組みを行ってきた。水素は水の電気分解によってオンサイト（現場、この場合は補給ステーション）で製造され、圧縮ガスの形で貯蔵されるが、極低温水素もサイトに搬入されている。燃料電池車だけでなく、改良型内燃エンジン車もこのサイトを利用している。ドイツ北部のバルト（メクレンブルク＝フォアポメルン州）のステーションは、太陽光発電電力を利用して水の電気分解を行い、水素を製造している。Isenbüttel（ニーダーザクセン州）のフォルクスワーゲン(Volkswagen)社技術センターでは、太陽光発電を利用して水素を製造する評価プログラムを実施（生成した水素は圧縮ガスの形で貯蔵）するとともに、液体水素を利用するステーションも設置した。その他、ドイツ全域の様々なステーションが、フォード社、Opel 社、BMW 社、ダイムラー社などの企業の燃料電池車実証プログラム用に配備されている。そこでは、Linde 社、Air Products 社などの企業が搬入したガスが使用される場合が多い。

他の国と同様、ドイツの自動車産業も新しい自動車技術のパラダイムが出来れば脅威を受けるかもしれない。ドイツ本国では石油資源が不足しており、天然ガスの大部分はロシアなどの国に依存している。また、少なくとも今のところは、原子力発電は後退している。このことから、ドイツ政府は将来のエネルギーを懸念してきた。ただし、ドイツはこれまで太陽光エネルギーの使用を促進してきたリーダー国の一つであり、太陽光パネルの製造や導入に関連した雇用も創出されてきた。このため、太陽光発電による水素製造プログラムは、二重の意味で躍進できる可能性がある。ドイツの化学会社、ガス会社、エレクトロニクス企業は、存続可能な燃料電池車産業や水素インフラ構築のために必須の要素技術を提供している。

^{注4} <http://www.fuelcelltoday.com>

1.4 イタリアの水素経済ビジョン

イタリアは、一連の研究支援プログラムの構築、「水素パーク」と「ハブ」（燃料補給の重要拠点）の構築、及び、水素関連事業の全般的な推進に着手し始めた（報道機関はこれらを総じて、「水素経済ビジョン(Vision on the H₂ Economy)」と称している）。2008 年末で、イタリアでは稼働中のステーションが 4 カ所、計画中のステーションが 3 カ所あった。現在のプログラムと計画中のハブの大部分はイタリア北部（特に、これまでに幾つかのプログラムが実施されていた地域）に設置される見込みである。トリノ市には、燃料電池バス試験プログラムを支援するために、5 年以上前に設置された補給ステーションがある。このプログラムの支援機関には、ENEA（イタリア新技術エネルギー環境局）、Ansaldo Ricerche 社、Irisbus 社、Sapio 社などがある。

ミラノ市近郊の Arese には、燃料電池車両用の補給ステーションが、MCFC（溶融炭酸塩形燃料電池）発電プラントと併設されている。このステーションは Centro Ricerche Fiat 社、ロンバルディ州及びミラノの政府機関による支援を受けている。さらに、ロンバルディ州の Bicocca 近郊にある燃料補給ステーションも MCFC 発電プラントと合わせて設置される予定である。このステーションは、BMW 社、ENEA、及び Zincar Srl 社の支援を受ける。Bicocca のステーションは天然ガスの改質によって水素をオンサイトで製造する予定である。EU が助成する 2004 年～2009 年の Zero Regio プロジェクトの一環として、ドイツのフランクフルトにあるステーションの協力を得ながら、欧州全域の多数の企業と研究機関がロンバルディ州マントバの燃料補給ステーションの運用に携わる予定である。ここでは化学プラントも併置し、天然ガスを改質して水素燃料が製造される。このプロジェクトで活動している企業には、Opel 社、Agip 社、Centro Ricerche Fiat 社、Eni 社、Linde 社がある。

上記以外に水素ステーションが集積している地域はトスカーナ州である。リボルノでは、トスカーナ州政府、Eni S.p.A 社、及びその子会社の Agip Gas 社がステーションを建設した。このステーションでは、風力発電だけでなく太陽光発電も利用して、水の電気分解で水素を製造する。Ponsacco では、ピサ大学、ポンテデラ市、ピサ空港および Piaggio 社が、燃料電池車試験プログラム用の燃料補給ステーションを設立した。フィレンツェにも補給ステーションが一カ所ある。このステーションでは水の電気分解とメタンの改質を用いて水素を製造しており、Nuvera 社、ENEA などから支援を受けている。Fiat 社はフィレンツェ近郊のシエナにステーションの開設を計画している。

1.5 英国

英国は島国であり、電車や車両は島と大陸間を行き来しているが、大陸の電力網や水素ネットワークと直接接続できる可能性は少ない。しかし英国企業と欧州企業は近い関係に

あり、技術とプロジェクトで協力することが可能である。例えば、Vestas 社（デンマークの世界大手の風力タービン製造業者）は、環境エネルギー技術センター(EETC: Environmental Energy Technology Center)のプロジェクトに、同社の 225kW - V29 モデル風力タービンを供給することに合意した。この EETC のプロジェクトでは、風力発電を利用して水素を製造し、英国サウスヨークシャー州の新エネルギー産業パークにあるオフィス用の照明と電力の供給を行う。EETC は地域の経済促進機関 Yorkshire Forward が推進している設立費 870 万ポンドの新しいビジネスインキュベーターである。EETC は再生可能エネルギー技術、新エネルギー技術の発展に精力的に取り組む企業が同パークで事業を起こすための支援を行っている。最初に建設された 3 階建てビルディングの敷地面積は約 2 万 4,000 平方フィート（約 2,200m²）、費用は 525 万ポンドであり、オフィスや研究所、ワークショップスペースなど、最大 30 の新しい事業が行われる見込みである。風力発電を利用して水素を製造する「ミニグリッド」システムのコストは、250 万ポンドとなる見込みである。

この風力タービンは、風が吹きフル運転となった場合、EETC ビルディングの電力を十分に供給できる。発電電力の余剰分は電解槽に供給される。Pure Energy Centre（スコットランド、シェトランド諸島アンスト島）製の 30kW アルカリ電解槽は、風力タービンから得られる電力を利用して、水を水素と酸素に電気分解する。風が吹けば水素を 200kg 以上製造できる。2008 年末までに導入予定の 30kW の PEFC（固体高分子形燃料電池）により、風が吹いていない時には、水素から電力を生成する。もし風力タービンによって発電された電力が、電力用途、あるいは水素生産用途のいずれにとっても余剰になった場合は、ナショナルグリッドに売電される。貯蔵された水素は、Yorkshire Forward が EETC に誘致したいと考えている他の水素関連エネルギープロジェクトで使用される可能性もある。建設が完了すれば、風力発電利用の水素製造システムとしては、英国で最大規模となる。

2. スマートグリッド、マイクロ CHP

スマートグリッド^{注5}の要件の一つは、電力需要家サイトのスマート電化製品であろう。スマート電化製品により、公益電気事業者はインターネットを通して消費電力を遠隔からモニターでき、再生可能（風力、太陽光発電等）発電電源からの電力も勘案しつつ、従来型発電所の最適な稼働時間を決めることができるようになる等が期待される。また、電力負荷のピーク時などには、需要家のエアコン温度設定を自動的にコントロールする等も構想されている。

需要家は、電化製品の使用エネルギー、太陽光パネルや家庭用燃料電池の発電量などを

^{注5} スマートグリッドについては、最近の NEDO 海外レポート 1039 号にも関連記事を掲載した。
「FERC はスマートグリッド技術への投資を勧告（米国）」
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1039/1039-13.pdf>

モニターすることができる。どの電化製品をいつ使用することが省エネ、あるいは電力コストの低減になるかなど、家庭のエネルギー管理に益することができるようになるだろう。プラグインハイブリッド自動車は通常はグリッドから充電して使用するが、逆に電力負荷のピーク時には、予備電源として活用することも構想されている。

以上はスマートグリッドの一側面を示したものである。

Ceramic Fuel Cells(CFCL)社(オーストラリア、メルボルン)は、1~2kWのSOFC(固体酸化物形燃料電池) - マイクロ CHP システムを一般家庭に設置するために、ドイツ、オランダ、英国、フランス、日本などの様々なパートナーと連携している。同社は、計画中のシステムにより、インターネットを介して電力のコントロールを行うことができ、グリッドの安定化に役立てられるだろうと述べている。

マイクロ CHP システムによる発電は、約 50%のエネルギー変換効率を達成できる。ただし、副生物の熱を他の用途(温水など)に利用できる場合、総エネルギー効率は約 80%にもなる。CFCL 社が Nuon 社(オランダ、アムステルダム)から最初に受注したシステムの台数は 5 万ユニットであり、年産 1 万ユニットの工場で生産される予定である。全ユニットの生産は、ドイツのハインスベルクで 2009 年半ばまでに完了する予定である。最終的に、年産 16 万ユニットへの生産能力の拡張が見込まれている。CFCL 社は、1kWのマイクロ CHP ユニットの生産のために、パロマ社(名古屋)とも連携しており、2008 年 8 月、CFCL 社は最初のユニットを研究用にパロマ社に発送した。パロマ社は日本の大手ボイラー製造業者であり、日本では約 4,700 万世帯のうちの 1,000 万世帯で同社の製品が使用されている。

ClearEdge Power 社(オレゴン州ヒルズバロ)は、家庭用や小規模事業者用の PAFC(リン酸形燃料電池) - マイクロ CHP システム(CE5 モデル、5kW)を販売する予定である。同社は、このシステムの全出力での運転で、5kWを発電(120kWh/日)し、時間あたり 2 万 btu 相当の熱量を 150°F(約 66°C)で生産した場合、天然ガスからの変換効率は最大で 80%を達成できると主張している。フルシステムの価格は約 2 万 7,000 ドル強であるが、政府の割戻金の支援があるため、購入価格は半分近くまで減らすことができる。同社はカリフォルニア州パームスプリングスやポルトラ・バレーなどの地域の、冷暖房の需要が高くプールやスパが備わった大きな住宅(4,000 平方フィート、約 370m²以上)の所有者を販売対象に想定しているようである。ClearEdge 社は、同社の燃料電池がプロパンやバイオガス、その他の類似燃料で運用できることと、太陽光発電や風力発電のような間欠的な電源とは異なり昼夜を問わず連続して発電できるとしている。

3. 産業用燃料電池及び水素

多くの産業プロセスでは副生物が生成されるが、この中には水素やその他の化学エネルギー資源に変換できるものがあり、燃料電池に使用し発電することができる。廃棄している副生物を有用に使いえれば、産業プラントにおける廃棄物処理のコストを引き下げることになる。ここで、副生物から生成される水素を他の企業に販売する場合、精製、貯蔵、運

搬のための余分な費用が発生することもあり、これは生産者の利益を引き下げる。

もし燃料電池用の資源として水素を生産現場で使用、あるいは別の場所で販売できるならば、これは生産者にとって魅力的な収入源になるだろう。このようなプロジェクトは今のところ比較的小規模ではあるが、関心を寄せている州が米国にいくつかある（例えば、サウスカロライナ州、ノースカロライナ州）。

また、欧州の様々な水素ハイウェイ・インフラのいくつかの水素補給ステーションでは、産業からの水素供給に依存していることにも留意する必要がある。

FuelCell Today^{注6}は、2007年7月に大容量定置式燃料電池についての調査を行っている。その結果によると、大容量定置式アプリケーションに関する様々な燃料電池技術は未だに競争が激しい。近年、動作条件、低品質の水素の利用可能性、技術上のコスト他から見て、MCFCの利用が最適であると想定されているにもかかわらずである。Ansaldo Fuel Cells社、FuelCell Energy社（POSCO社と提携）、GenCell社、及びCFC Solutions社（同社はFuelCell Energy社から燃料電池スタックを購入している）は、MCFCユニットを多数売り上げている。特に、低品質な水素の原料である食品や飲料加工残渣からの産業由来バイオガスや、下水汚泥、あるいはそれ以外の原料の分野においてである。もし1kWにつき1,000ドルの税額控除が行われ、米国で許可されている加速償却(accelerated depreciation)において、その控除(\$1000/kW)が優位に働けば、MCFCの\$3000 /kW は、ガスタービンの\$1000/kWと匹敵するほど魅力あるものとなるだろう。

FuelCell Today の解説によると、PEFC は高額すぎるために、大容量の定置用燃料電池への利用は一般には受け容れられないと考える観測筋もあるが、比較的純度の高い水素を（塩素アルカリプラントなどから）入手できる場合には、PEFC 技術が適していると考えられる開発業者（Electrocell 社、Hydrogenics 社、NedStack 社及び Nuvera 社）もある。また、アナリストの中には、MCFC が従来の PAFC 技術を凌ぐことを期待する声もあるが、HydroGen 社と UTC Power 社はユニットの販売で近年成功を収めた。しかし、HydroGen 社は現在の経済状況により、従業員を解雇し、新しい資金を探さなければならなくなったという事例も存在する。SOFC は、大容量定置式燃料電池の用途向けに、様々な水素原料を使用することができる。FuelCell Today のレポートには、商業利用において SOFC を主要な候補としている企業のリストが記載されている（Bharat Heavy Electrical 社、General Electric 社、三菱重工業、新日本製鐵、Rolls Royce Fuel Cells 社、Siemens Power 社、Versa Power など）。

編集・翻訳：NEDO 研究評価広報部

出典：SRI Consulting Business Intelligence Explorer Program

^{注6} <http://www.fuelcelltoday.com>

【個別特集】 エネルギー 研究開発政策

安定で持続可能なエネルギーの未来のための新しい科学（米国）

DOE 基礎エネルギー科学諮問委員会(BESAC)からの報告書

（その4 まとめ）

NEDO海外レポート 1039～1041 号に引き続き、米国エネルギー省基礎エネルギー科学諮問委員会(BESAC : Basic Energy Sciences Advisory Committee)の報告書^{注1}の内容を紹介する。

内 容	
<u>はじめに</u>	
米国は3重のエネルギー問題に直面している エネルギー問題の大きさ	（以上 1039 号掲載）
<u>安定で持続可能なエネルギー未来を描く</u>	
1. エネルギー未来技術 先例がない性能を持った材料 化学変化をより選択的にする 地球に炭素を返す 安全でより効率的な原子力発電	（以上 1040 号掲載）
2. 省エネルギー未来技術 そこにデジタル照明を 建物のためのソーラー経済 ハイブリッド電力グリッド 先進的な輸送 ソーラー燃料 電力による輸送	（以上 1041 号掲載）
<u>まとめ</u>	（今号掲載）
これらの夢物語の実現 成功への道 提言	

これらの夢物語の実現

妥当性ある未来のこれらのスナップショットは、予測ではなくシナリオである。しかし、「これらのエネルギー未来をどのように探すのか」と質問するのが公平である。これらは、国家としてまた文明全体として向かいたい方向であろう。再生可能エネルギーが大々的に

^{注1} “New Science for a Secure and Sustainable Energy Future”, A Report from the Basic Energy Sciences Advisory Committee,
http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/NSSSEF_rpt.pdf

化石エネルギーを置き換える時、それはより経済的であるからであり、より環境的に持続可能であり、またより手頃だからである。

持続可能なエネルギー未来は、米国のためだけにではなく、すべての国家の安全保障の関係からも確かにより好ましい。もしすべての国がその国自身のエネルギーを作ることができれば、そのことは国際緊張の原因を減らす。そして、ビジネスチャンスは、国内および海外の広大な国際市場での、大きな新しい投資と新しい雇用にある。我々は、中国に彼らから買う商品を越える価値の革新的な先進エネルギー技術を売りにたくないのであろうか。

ここで概説されたエネルギー目標を達成することは、容易ではないであろう。そして基礎科学の大きな動員なしでは、このことは起らないであろうことを明確にしよう。しかし、もし我々が、この報告書の中で概説されたような、密接に結び付いたエネルギー目標を本当に達成したければ、他にどんな選択肢があるのであるであろうか。

基礎材料研究の商業的インパクト：一つの例

A123 システムズ社(マサチューセッツ州の企業)は、米国エネルギー省基礎エネルギー科学局による資金提供により、新しいリチウムイオン電池材料に関する基礎研究をスタートさせた。MIT の Yet-Ming Chiang 教授の研究所からのわずかな数グラムの試作品のナノスケールリチウム金属リン酸塩オリビンにより 2002 年に開始されたが、同社は、ナノリン酸塩(Nanophosphat)と呼ぶトン数量規模への拡張パウダー生産方式による、高性能陰極材料生産のための商業工程をすぐに開発した。そして、新しい電池化学を利用した斬新な電気化学電池設計を開発し、2005 年 11 月に、A123 社は高出力の安全で長寿命の新しいクラスのリチウムイオン電池の商業生産を発表した。

同時に、その最初の主要な商業化パートナーである Black and Decker 社が、このバッテリー基盤を使用して、DeWalt 社のコードレス・パワーツール用の新しいラインを発表した。新しい電池化学の歴史的に最も速い商業化と、多くの人考えるこの達成は、同社がその発展段階において受領した DOE の小企業革新研究(SBIR : Small Business Innovative Research)助成によってさらに支援されていた。今日、A123 社は、輸送、電力グリッドサービスおよびポータブル電力の 3 つの主要市場へ、バッテリーおよびエネルギー・システムを生産する国際企業になっている。

DOE と米国自動車メーカー間の協力である、米国先進バッテリーコンソーシアム(USABC : United States Advanced Battery Consortium)からの開発契約により支援されて、A123 社はその中核技術を使用して、ハイブリッド電気自動車(HEV)用のバッテリーを開発し、現在、輸送分野の様々な顧客に供給している。続いて、同社は、プラグイン・ハイブリッド電気自動車(PHEV)用バッテリーに集中する、2 番目の数 100 万ドルの USABC プログラムを開始しており、また同様に、グリッド安定化応用向けのトラクタートレーラー寸法の大型バッテリーを現在開発している。

成功への道

革新的な新しい材料と化学プロセスは、この展望の達成をもたらす作用因子である。将来のエネルギー・システム、太陽光の開発、電力の貯蔵、また水分解や二酸化炭素の削減

による燃料の作成は、エネルギーを一つの形式から別の型式に変換するための材料と化学変化を中心に展開する。

そのような材料は、今日のエネルギー材料よりもはるかにスマートでより機能的である必要がある。化学反応を制御したり、太陽の光子を電子に変換するために、各々のステップが設計されたナノスケール構造を持つ特別に作られた材料によって、実行される多数のステップの統合を必要とする。

そのような先端材料は、我々が化石燃料を見つけるようには、自然界では見つからない。それらは、基礎科学によって明らかにされた原理を使用して、厳格な基準で設計され作り上げられなければならない。

商用のシリコン太陽電池は、1954年の6%の効率から、今日の20%以上の効率にまで達している。これは、基礎的な材料研究が、光起電力変換の現象についての理解をもたらし、この機能を遂行する半導体材料を絶え間なく向上させたからである。

太陽光の電力への変換は、多数の構成要素のステップで構成された複雑なプロセスである。太陽電池の効率増加は、光子捕獲、電荷分離と電荷収集の各ステップの動作を理解することを必要とする。電荷捕捉による欠陥は、各ステップで除去されるか最小化されなければならない。また、各ステップを実行する複合材料は、一つの機能単位へ統合されなければならない。

材料や化学的現象の同レベルの複雑さは、3つのエネルギー目標である、太陽光からの燃料、二酸化炭素排出のない電力および革命的なエネルギー効率と使用のすべてにわたる。斬新的で高度な特性や動作を持つ材料を作成する作業は、観察科学から「制御科学」の高まりという、現在、科学に生じている平行変換によって非常に大きな力を与えられている。

20世紀は観察科学の革命的な進歩を経験した。高温超伝導体、原子分解能を持った電子顕微鏡、さらに、鋼の強さと羽根の軽さの質量を組合せるカーボンナノチューブのような注目すべき発見を我々にもたらした。観察科学は、いまや、制御科学を生み出した。そこでは、原子やナノ規模での材料の化学的・物理的挙動を、考案し、作りだし、方向づけるために、観察結果に由来した蓄積された知識を使用している。

制御科学は、材料と化学変化の複雑性を管理し、意図的に予期せぬ良い結果に置き換える。エネルギー変換を制御する複雑な構造、組成および化学プロセスを設計し作り出す能力は、今や、手の届くところにある。高機能材料と制御科学の交点は、持続可能エネルギーのための転換点を作り出す。持続可能エネルギーのための推進力とチャンスは、決してそれほど大きくはなかった。

複合材料や化学プロセスに制御科学の方法およびツールを適用する国家イニシアティブは、我々の外国エネルギーへの依存性を単に減らすだけでなく、潜在的に削除し、さらには、次世代エネルギー技術における我々の指導的立場を確立し、エネルギーを渴望する世界に、この技術を提供する経済的利益をもたらすであろう。

提言

安定で持続可能なエネルギー未来の展望は、我々のエネルギー供給の3分の1を輸入するために数千億ドルを費やしている現状を脱して、米国で考案され作られた新しいカーボンフリー・エネルギー技術の開発、展開さらに輸出への動きを引き起こす。これは大事業である。しかし、チャンスは巨大である。

エネルギーの供給と使用パターンの変化と未来のすべての展望は、エネルギー効率の大きな進展と共に、太陽エネルギーのような再生可能資源を含んだ、カーボンフリー・エネルギー資源の大きな増加をもたらす。

問題は、今日の解決策は、その課題達成にまで及んでいないということであり、現在の実績は、必要なものよりかなり下にあり、また、改善がなされている速度は非常に遅すぎる。「ゲームのルール」を変更する新しい考えによるパラダイムを変えるブレイクスルーによって前進させなければならない。

基本的な科学の障壁を既存の技術で克服するために提供する技術的解決策と同様に、全ての新技術の基盤である、ゲームを変化させる基本的な発見や技術革新の支援が、DOE 基礎エネルギー科学(BES)局が果たす役割である。もちろん、他のものもまたその役割を果たさなければならない。

エンジニア、企業家、ベンチャー投資家および研究者はすべて、明日のエネルギー技術を開発し、これらの発見を商業化し、そして市場へそれらをもたらすために、ともに働く必要がある。しかしながら、発見や技術革新の速度を増加させること無しには、必要とする変更は決してやって来ず、また、もし来たとしても、実現は遅すぎるであろう。

BES は、ユニークなやり方でこの問題に取り組むことができる。BES のミッションは、エネルギー消費の環境影響を軽減すると同様に、新しい向上したエネルギー技術の基礎を提供する基礎研究を支援している。このミッションの支援のもと、BES は、先例がない精度で材料や化学プロセスを調べるのに必要な科学的ツールおよび設備を設計・構築し、それにより、大学、国立研究所および産業界の研究の必要性に役立たせている。

現在、11 件になる「基礎研究の必要性」ワークショップと報告書およびグランド・チャ

レンジ報告書などを通して、BES は、米国が今日直面する単一で最も大きな科学的な問題に取り組むために必要な研究事項およびツールを系統的に文書化している。

詳細は複雑であるが、結論は明確である。

ー発見、技術革新および技術変化の速度の大きな増加が必要である。

BES は、次世代のカーボンフリー・エネルギー技術の重大な科学的障壁の解決に注目して、大胆な新しいイニシアチブを導かなければならない。

ー大きな発見は、先進的材料や化学的現象と制御科学との交差で生じるであろう。また、ここにその研究取り組みを集中させる人々に対して明らかな早期着手の利益がある。

BES は、将来のエネルギー資源やシステム発見のための世界的な競争において、米国が遅れを取らないように、米国のエネルギー研究の取り組みをこの方向に導かなければならない。

ー発見の速度を高めるためには、第一級のツールを装備して、最も急を要する問題に注目して、高度に教育を受けた才能を持った「ドリームチーム」を使用することであろう。

BES は、先進的材料の合成、評価、理論および計算における必要性和能力の間のギャップを縮めるために、これらのドリームチームの展開を導かなければならない。

ー米国のリーダーシップは、今日の学生および若い研究者を明日のエネルギー解決策の発見者、発明者および革新者となるよう奮い立たせることを目指して、一連の労働力開発および早期キャリア・プログラムを通じて、最良の才能を積極的に募集するための全国的取り組みを導くことを、BES に求めている。

制御の科学の機会

電子、原子および分子レベルでの物質やエネルギーに向けて

科学は、現在、電子、原子および分子レベルでの物質とエネルギーの制御に基いた新しい時代に入っている。20 世紀には、科学は、常により小さな長さスケールで、我々のまわりの世界を観察するために、注目すべき能力を発達させた。世紀半ばまでに、電子顕微鏡は、我々の実社会にある材料の巨視的挙動を決定する原子の複雑な配置を明らかにした。1990 年代までに、走査型プローブ顕微鏡は、個々の原子の電子構造や、電導度や絶縁性および磁気特性を制御する、隣接した原子との相互作用を明らかにしている。強力な X 線および中性子源は、材料が化学反応をしたり、外部刺激に反応した時の、材料の原子および電子構造の変化についての実時間観察を可能とした。

21 世紀に、観察の科学は、化学的・物理的現象を始動し制御する材料中の原子配置およびエネルギーの流れに向けた、新しいパラダイム生み出している。我々は、現在、原子毎に材料を構築することができ、自然界に存在しない材料を創造する新しい展望

を開いた。高度な理論および計算モデルは、これらの仮想的物質の特性を予測する。そして、我々はボトムアップによる自己集合やトップダウンのリソグラフィーによってその材料を研究所内で構築することができる。

一度合成されれば、我々は電子・原子レベルでそれらの特性を観察して、その特性を最適化するためにその構造を微調整することができる。そのような原子的・電子的な制御は、基礎科学の質的に新しい特徴である。設計がセレンディビティ(予期せぬ良い物を見つけ出す才能)をもたらすことができ、目標の課題を達成するために原子毎に材料を作り出せるところで、新しい時代が開かれる。より大きなエネルギー持続性への移行のために、制御の科学は、光と電子および化学結合の間のエネルギーの物理的・化学的変換を方向づける複合材料を設計し合成するという先例がない機会を生み出すであろう。

(出典 : <http://www.sc.doe.gov/bes/reports/abstracts.html#NSSSEF>)

【エネルギー】 プラグイン・ハイブリッド電気自動車(PHV)**オバマ大統領が次世代電力自動車に対し 24 億ドルの助成を発表(米国)**

2009 年 3 月 19 日、バラク・オバマ大統領は、米国再興・再投資法(American Recovery and Reinvestment Act)により、米国エネルギー省(DOE: Department of Energy)が次世代プラグイン・ハイブリッド電気自動車(PHV)とその高性能電池部品に対し、最大で 24 億ドルを助成することを発表した。24 億ドルの内訳は、国内の製造業者が高効率電池とその電池部品を製造する支援に 15 億ドル、同じく電気自動車に必要なその他の部品（電気モーターなど）を製造する支援に 5 億ドル、プラグイン・ハイブリッド車とその他の電気インフラのコンセプトを実証・評価するためのプロジェクトに 4 億ドルとなる。これらのプラグイン・ハイブリッド車が市場で売り出された場合、PHV を購入する米国の居住者は最大 7,500 ドルの税額控除を請求できる。米国で PHV 産業が構築されれば、何万人分もの職が創出されるとともに、米国の輸入石油依存を低減させられるだろう。

DOE は電気自動車用のパワーエレクトロニクスの製造工場だけでなく、電池の製造プラント、部品プラント、及び、リチウムイオン電池とその他の先進電池用のリサイクルプラントについても、建設やアップグレードのための補助を行う予定。これらの取り決めによって、電池パック、電池、電気推進システムのコストはより低く抑えることができるだろう。さらに DOE は実証、評価、及び教育プロジェクトの支援も行い、先進電気自動車の市場の発展を支える。助成金の 24 億ドルは二件の助成プロジェクト公募(FOA: Funding Opportunity Announcement)で分担される。交通電化部門(Transportation Electrification)の申請期限は 2009 年 5 月 13 日まで、電気自動車用電池及び部品製造部門(Electric Drive Vehicle Battery and Component Manufacturing Initiative)の申請期限は 2009 年 5 月 19 日までとなる。

プラグイン・ハイブリッド車は、燃料補給なしで最大 40 マイル（約 64.4km）を走行でき、米国の殆どの通勤者は燃料を使うことなく出勤し、帰宅できる可能性がある。その上、PHVは 40 マイルの航続距離を現行のハイブリッド車と同じように走ることができ、燃費も良い。全体的に見て、プラグイン・ハイブリッド車は 100 マイル／ガロン相当の燃費効率になることが期待される。しかしこのような車両の実用化は、耐久性、性能、重量の厳しい基準を満たすことができる先進電池が開発されるかどうかにかかっている。DOEのプレスリリース^{注1}と、DOEエネルギー効率・再生可能エネルギー局(EERE)が進める自動車技術プログラム(Vehicle Technologies Program)^{注2}のウェブサイトも参照されたい。

翻訳：大釜 みどり

出典：http://apps1.eere.energy.gov/news/news_detail.cfm/news_id=12357?print

注1 <http://www.energy.gov/news2009/7066.htm>

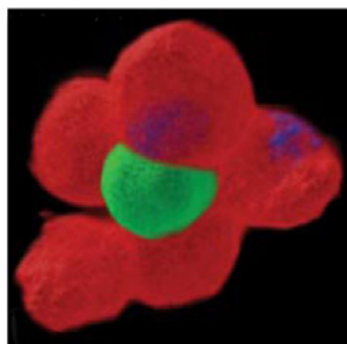
注2 <http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/>

【産業技術】 ライフサイエンス

3次元構造の微小な多細胞組織を作る新技術(米国)

ー細胞工学の研究者らがボトムアップな手法で多細胞組織を作製ー

米国エネルギー省(Department of Energy : DOE)ローレンス・バークレー研究所(カリフォルニア州バークレー)の科学者らが、細胞が互いに結合しあって3次元微小多細胞組織を形成する過程を制御する取り組みに成功した。天然の細胞は「成長因子^{注1}」と呼ばれる物質を介して互いにコミュニケーションをとるが、今回の研究では、この仕組みとよく似た働きをする人工的な細胞シグナリング^{注2}システムが構築された。



2種類の細胞が結合してできている3次元微小細胞組織。

今日、人工組織は、皮膚移植、骨髄移植、代用血液などといったさまざまな医療用途のほか、基礎医学や生物学の研究などで利用されている。組織工学の研究者らは、ドナーから提供された生体細胞を操作し、組織の改良や修復に取り組んでいる。人工材料と組み合わせる場合もある。しかし、従来の「トップダウン^{注3}」な手法では、それぞれの細胞が不規則に結合することから、生体組織の機能の鍵となる組織の3次元構造が失われていた。

「我々の開発した技術を使えば、ボトムアップ^{注4}な手法で多細胞組織を作ることができる」と、この研究を率いたキャロリン・ベルトツツィは言う。ベルトツツィは、バークレー研究所内にあるDOEのナノサイエンス研究施設Molecular Foundryの責任者であり、また、同研究所の材料化学部門および生物物理学部門に所属する研究者でもある。「つまり異なる細胞の混合体の中で、個々の細胞がどのように隣接し合うかを制御できるということだ。この手法を使えば、より複雑な性質を持った組織を作れるようになる可能性がある。」

注1 多細胞生物の体内で細胞の増殖や分化を促進するタンパク質。標的細胞の表面に結合することにより、細胞同士が情報伝達を行うための信号物質として機能する。「増殖物質」や「細胞増殖物質」などとも呼ばれる。

注2 細胞内や細胞間の信号伝達のこと。

注3 上位から下位、あるいは全体から細部へと段階的に物事を進めていく手法のこと。

注4 下位から上位、あるいは細部から全体へと段階的に物事を進めていく手法のこと。

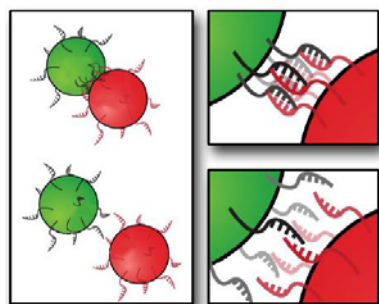
細胞同士の複雑な結合やコミュニケーションが重要な役割を果たす例の1つに「幹細胞ニッチ^{注5} (生態学的適所)」がある。「幹細胞ニッチは、幹細胞を未分化なまま維持したり、特定細胞への分化に向けて誘導することができる」とベルトツツィは言う。ベルトツツィは、カリフォルニア大学バークレー校の化学および分子細胞生物学の教授と、ハワードヒューズ医学研究所の研究員も兼ねている。

合成有機化学の分野では、原子や官能基^{注6}を一度に1つずつ結合させて新しい分子構造を作るという手法がよく用いられる。ベルトツツィと同僚のゼヴ・ガートナー（現在はカリフォルニア大学サンフランシスコ校の助教授）は、この手法をもとにして、細胞を一度に1種類ずつ結合させるという合成方法で3次元構造を持つ微小組織を組み立てた。この研究の結果は、2009年3月9日の全米科学アカデミー紀要(Proceedings of the National Academy of Sciences)オンライン版に掲載された^{注7}。

細胞の結合の制御

ベルトツツィとガートナーは、細胞同士の反応を制御するために、細胞の表面をDNAで被覆した（細胞表面は、通常はDNAの存在しない場所である）。彼らはまず、特定の化学基を持つ人工の糖を細胞表面に表出させてから、細胞同士を結び合わせる媒体となる合成DNAを、これらの糖に化学的に結合させた。

1つのグループの細胞の表面を20塩基で構成される短い一本鎖DNAで被覆し、それらと相補的な塩基配列を持つ一本鎖DNAで別のグループの細胞の表面を被覆した。一方のグループの細胞が他方のグループの細胞に出会うと、それぞれの一本鎖が互いを認識して二本鎖のDNAを形成し、その結果、細胞同士が結合する。



相補的な一本鎖DNAを表面に持つ細胞同士が互いに反応し、しっかりと結びつく様子。

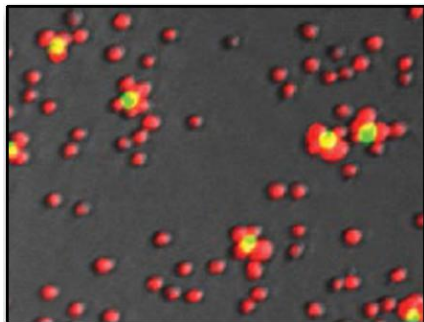
ベルトツツィとガートナーは、異なるグループの細胞同士が互いにどのように反応するかを決定づける3つの可変要素を発見した。1つめの要素は、各グループの細胞の比率で

^{注5} stem-cell niche. 幹細胞は、自己複製する能力とともに、さまざまな細胞に分化する能力（多分化能）を持つ。未分化の状態にある幹細胞が、生体内で幹細胞としての特徴を維持して存在する（分化の開始を待つ）ための微小な環境のことを「幹細胞ニッチ（生態学的適所）」と呼ぶ。幹細胞ニッチは、隣接する細胞群や組織などによって構成される。

^{注6} 分子を構成する部分構造の一種であり、化合物に化学的性質を与えるもの。

^{注7} <http://www.pnas.org/content/early/2009/03/06/0900717106.abstract?etoc>

ある。双方の細胞の数が等しい場合、それぞれの細胞は単一のパートナーを見つけるため、複合的な集合体が形成されることはない。しかし、たとえば一方のグループの細胞が他方の 50 倍存在する場合には、数の多いグループの細胞が少ないグループの細胞の周りを取り囲む。



赤色あるいは緑色に着色されて、互いに相補的な DNA 配列を与えられたジャーカット細胞（白血病細胞の一種）が、50 対 1 の比率で混合されている様子。

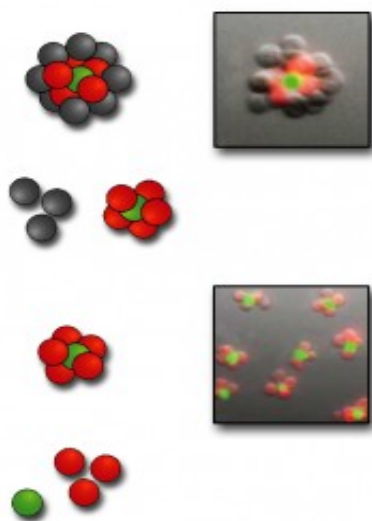
2 つめの要素は、合成 DNA を構成する塩基配列の複雑さである。配列の複雑さは指定することが可能であり、たとえば一方の DNA 鎖がシトシンとアデニンの単純な繰り返し (CACACA...) である場合、それらが結合する相補鎖はチミンとグアニンの繰り返し (TGTGTG...) となる。また、合成 DNA を構成する 20 個の塩基全体をさまざまな順序で並べて、複雑な配列を作ることもできる。配列が複雑であればあるほど、細胞の結合にはより長い時間がかかる。

3 つめの要素は、細胞表面の DNA 濃度である。細胞表面に表出する人工糖の数を制御することにより、細胞表面の DNA 濃度も制御することができる。DNA 濃度が高ければ高いほど、細胞の結合にかかる時間は短くなる。

細胞の結合を制御する可変要素は、ほかにもまだ存在する可能性があるとベルトツツィは言う。「たとえば、DNA 鎖を特定の細胞構造に集合させることができる可能性がある。それができれば、細胞表面における DNA の分布をもう 1 つの可変要素として、細胞間コミュニケーションの誘導に利用できるかもしれない。」

複雑な微小組織の段階的な構築方法

これらの可変要素を制御することで小さな細胞組織を作り、次に不必要な細胞や反応しない細胞と、望み通りの形になった組織を分ける。このようにして選ばれた細胞群を集め、さらに結合させる。これらの手順を繰り返すことによって、複雑な分子を組み立てる合成有機化学の手法と似た方法で、大きくて複合的な組織を合成することができる。



赤色と緑色の染色マーカーで印を付けた細胞が結合した後、反応のない細胞を除去して、形成された 3 次元構造を取り出す。その後、さらに細胞を追加して、より複雑な組織を作ることができる。組織に組み込める細胞の種類は理論的には無限だが、3~4 種類の細胞で作成するのがちょうどよいと考えられる。

ベルトツツィとガートナーは、この方法を使って、1 種類の細胞が別の種類の細胞の増殖を制御する細胞シグナリングのネットワークを構築した。具体的には、成長因子インターロイキン 3 の存在を受けて生存・自己複製する多能性造血細胞（血液細胞に分化する幹細胞の一種）を、インターロイキン 3 を分泌するように操作された CHO 細胞（チャイニーズハムスター卵巣細胞）とともに微小組織の中に組み込んだ。

これら 2 種類の細胞が不規則に混合されたときには、幹細胞は増殖しなかった。しかし、これらの細胞を使って構造的に組み立てられた微小組織は自己増殖し、免疫細胞の増加や腫瘍の増殖を制御する自然のシグナリングネットワークとよく似た、単純な人工ネットワークを形成した。

「原則的に、DNA には無限大の情報を蓄えることが可能だ。そのため、組織に組み込める細胞の種類の数には、理論上、制限がない。」ベルトツツィは言う。この技術の鍵は、細胞の種類ごとに異なる DNA の「バーコード」を付加することにある。それぞれの細胞は、このバーコードによって、指定された別の種類の細胞と計画通りにコミュニケーションをとることができる。「実際的には、3~4 種類の細胞を使うのがちょうどよいだろう。そのような構造の組織は、多くの生体器官で利用することができる。」

構造的に組み立てられた微小組織は、「細胞の周辺環境が特定の細胞の挙動に影響を与える仕組みを調べる研究」など、さまざまな研究に役立つとベルトツツィは言う。「また、細胞システムが連携して生体組織の複雑な機能を発生させる仕組み、たとえば、T 細胞と B 細胞がリンパ節内で連携して、外来抗原に対する免疫応答を開始する仕組みなどを調べる研究にも役立つ。」

生物医学分野における需要を満たすために生産手法をより大規模にする必要があるなど、実用化にはまだ課題が残されている。また、ベルトツツィは、細胞表面に DNA を結合させる方法も改良したいと考えている。

「現在の方法では、人工糖の生合成^{注8}が必要であるために、利用できる細胞の種類が制限されている。」ベルトツツィはこのように言う。「DNAを細胞に結合させるには、糖の代謝経路に依存しない方法もある。我々は、そのような方法の中から相応しいものを探すつもりだ。」

この研究は、DOE 科学局(Office of Science)による支援の下で実施された。

翻訳：桑原 未知子

出典：A New Way to Assemble Cells into 3-D Microtissues

<http://newscenter.lbl.gov/press-releases/2009/03/05/3-d-microtissues/>

^{注8} 生体が化合物を合成すること。

【産業技術】 ナノテク**電子増倍による太陽電池性能向上の可能性を確認(米国)**

あるナノ結晶が一個の光子を吸収し、1 個以上の電子を生成することが明らかに

一個の光子が複数の電子を生成するキャリア増倍は、小さな半導体結晶において確かな現象であり、キャリア増倍に似た外的効果から生じる誤った観測結果ではないことを、ヴィクター・クリモフが率いるロスアラモス研究者チームが示した。「化学研究報告 (Accounts of Chemical Research)」の最新号で報告されたこの研究は、1 個の光子当たり 1 エネルギー単位以上を生成する太陽電池の可能性を示している。

太陽電池のエネルギー出力を増倍させる能力に関する課題が、ロスアラモス国立研究所の研究者に、非常に小さな半導体粒子中のキャリア増倍を再評価するように促した。

従来の太陽電池は、1 個の光子を吸収する時に電流を生成する電子を 1 個放出する。電子を伝導状態へもたらすために必要な量を越えたエネルギーは、材料格子中の原子振動(フォノン)への熱として失われる。キャリア増倍を通して、過剰エネルギーを、材料格子ではなく、もう一つの電子に転送することができ、電流を生成するためにその電子を放出して、その結果、より効率的な太陽電池を作り出すことができる。

クリモフと同僚は、ある半導体のナノ結晶が、光子を吸収した後に、1 個以上の電子を生成することが可能なことを示している。これは、部分的には、ナノスケール粒子の境界内に一緒に押し込められた電子間の相互作用が強化されることに起因している。

2004 年に、ロスアラモス国立研究所の研究者リチャード・シャラーとクリモフが、吸収された光子当たり 2 個までの電子・正孔ペアをもたらし、セレン化鉛のナノサイズ結晶内の大きなキャリア増倍に関する最初の観察結果を報告している。1 年後に、米国再生可能エネルギー研究所のアーサー・ノジックと同僚が、この結果を再現した。やがて、キャリア増倍の分光学的な特徴は、シリコンを含む様々な構成のナノ結晶の中で観察されるようになった。

最近、キャリア増倍研究の主張が論争的になっている。特に、いくつかの最近の研究が、小さいか無視できるようなキャリア増倍の効率について報告しており、これは、初期の発見に正反対であるように思われる。これらの矛盾を整理するために、ロスアラモスの研究者は、報告されたキャリア増倍結果のばらつきに関係する要因を分析した。これらの要因には、試料間のばらつき、検出技術の差、および分光器測定でのキャリア増倍に似通った効果、が挙げられる。

検出技術がどのように結果に影響するかを分析するために、クリモフ・チームのポストドクのジョン・マクガイアは、2つの異なる分光技術（過渡吸収ならびに時間分解フォトルミネセンス）を使用して、キャリア増倍を調べた。これらの2つの方法によって得られた結果は、非常に良く一致し、検出技術の差は、他の研究者によって指摘された矛盾を説明できないことを示した。さらに、キャリア増倍において、試料間の差がいくらか影響することを、これらの測定が明らかにした。しかし、この影響は、報告されたデータのバラツキよりもはるかに小さかった。

これらの2つの要因の可能性を除外した上で、研究者は、キャリア増倍に似た効果について注目した。このような効果のひとつとして、ナノ結晶の光電離がある。

「ナノ結晶が高エネルギーの光子を吸収すると、電子はその物質から飛び出すのに十分なエネルギーを獲得することができる。電子が飛び出すと、あとには正孔を含む荷電ナノ結晶ができる。2個目の光子によるもう一個の電子の生成で、2個のホールと1個の電子状態となり、これはキャリア増倍によって作られた状態と類似した結果となる。このことが、間違った結果に結びつくことになる」とクリモフは説明した。

光電離の影響を評価するために、ロスアラモスの研究者は、ナノ結晶の静止状態と攪拌状態の溶液に関する連続実験を行った。攪拌は、試料の測定領域から電荷を持ったナノ結晶を除去する。したがって、結晶が光にさらされた場合、攪拌は電荷を持ったナノ結晶が2個目の光子を吸収する可能性を取り除く。

ある試料の攪拌は測定結果に影響しなかったが、他の試料では、静止状態と攪拌した場合の測定で、明らかにキャリア増倍に大きな差が現れた。これまでのほとんどの研究は、静止した試料で行なわれていたので、他の研究者によって指摘された矛盾は、少なくともその一部分が、放置された光電離から発生したことを示唆している。攪拌によりこの光電離が取り除かれた。

ロスアラモスの研究者は、光電離を抑制した時のキャリア増倍効率を再評価した。その結果は心強いものであった。新しく測定された電子の生成は以前に報告されたより低いですが、それでも、キャリア増倍の効率はバルク固体よりも大きい値である。特に、ナノ結晶中に余分な電子を生成するのに必要なエネルギー閾値とエネルギーは、バルク固体のおよそ半分である。

これらの結果は、太陽輻射の効率的な刈取り器（harvester）としてのナノ結晶の大きな可能性を示している。

「研究者にはまだやらなければならない多くの研究がある。1つの重要な課題は、追加

の電子を作り出すエネルギーコストが半導体バンドギャップによって規定される限界値に近づくことが可能な材料の設計方法を見つけ出すことである。

そのような材料は、太陽電池の原理的な電力変換の限界を、31 パーセントから 40 パーセント以上にまで増加させることができるであろう」とクリモフは語った。

(出典 : http://www.lanl.gov/news/index.php/fuseaction/home.story/story_id/15709)

【産業技術】 ナノテク

ナノエレクトロニクスのための原子サイズの ワンストップ・ショップを開発(米国)

単一プラットフォームで、コンピューターや、メモリ素子、センサーそして他の重要な技術に応用される、寸法 2 ナノメートルのトランジスターを作成

ピッツバーグ大学の研究者が、ナノ規模製造を可能とするのワンストップ・ショップ(1ヵ所で完成させる工場)を開発した。これは高密度メモリ素子や、そしてもっとも重要なことにはトランジスターやコンピューター・プロセッサのような技術的に重要なデバイスの高度な形式を作ることを可能とする、ほとんど単一原子規模のエレクトロニクスを作るための単一プラットフォームである。

この多様な用途は、2つの絶縁材料間の界面で書換可能なナノ構造を作るために、同じチームが以前に開発した技術に由来している。このプロセスの様々な応用は「サイエンス誌」2月20日号の論文^{注1}に報告されている。

「我々は、既存のデバイスより著しく小さく、そしてすべてが同一の材料による重要な技術を作ることができることを実証した。より小さくより高速なコンピューターの開発を継続するために、我々は、恐らく次の10年間に既存の材料から離れて遷移する必要があるであろう。

磁気ハードディスクのメモリ・ビットは、ほとんど極限まで小型化されており、シリコン・トランジスタは、小型化するのがますます困難になるであろう。我々は、同一材料を使用して高度な記憶装置やプロセッサ能力を開発し、エレクトロニクス構築に全く新しい柔軟性をもたらした」と「サイエンス誌」論文の主著者で、ピッツバーグ大学文理学部物理学と天文学の教授であるジェレミー・レヴィーが語った。

絶縁体や導電体を取り替える彼らのプロセスが、レヴィーのアイデアがヒントの図面玩具である「Etch A Sketch™」の微細版のように動作することを、レヴィーと彼のチームは、2008年3月に「ネイチャーマテリアル誌」に報告した。原子間力顕微鏡の鋭い導電プローブを使用して、彼は、両材料とも絶縁体である、チタン酸ストロンチウム結晶とランタン・アルミン酸塩の厚さ1.2ナノメートル層の界面に幅4ナノメートル以下のワイヤーを作成した。導電ナノワイヤーは、その後、逆電圧あるいは光で消去することができ、もう一度、界面を絶縁体の状態にする。

^{注1} 「Oxide Nanoelectronics On Demand」, Cheng Cen, Stefan Thiel, Jochen Mannhart, Jeremy Levy, Science 20 February 2009: 1026-1030, <http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/323/5917/1026>

「サイエンス誌」の報告は、このプロセスの可能性が単純な絶縁体や伝導体を越えて拡張され、特定の用途に、とりわけコンピューターやエレクトロニクスの構築ブロックである電界効果トランジスタ(FET)に適合することができることを明らかにしている。レヴィーと彼の同僚は、わずか2ナノメートルの彼らが「SketchFET」と呼ぶトランジスタを製作した。これは、長さ45ナノメートルの最先端のシリコン・トランジスタより非常に小型である。「SketchFET」の微細寸法を使えば、単一のデバイスにさらに多くのトランジスタを詰めることが可能となる。

「SketchFET」は、シリコン・トランジスタとの顕著な類似点を持っているように思われる、とレヴィーの研究を知っている、HP社の中央研究施設であるHP研究所情報量子システム研究所の上級研究者であるアレグサンダー・ブラコフスキーは語った。

『SketchFET』のチャネル電流電圧特性は、シリコン・トランジスタに非常に接近しているように見える。また、その特性は有望に思える。単純さの点では、飛躍的である。トランジスタは、通常、多重層の中で配置されている。一層に埋められた酸化物界面を使い、ほとんど2次元のレイアウトに描くことにより、構造を形成することができるという、全体構想は非常に面白い。

それは、エレクトロニクスやセンサーへの多くの可能性を持った素晴らしい研究の一つである。また、他の興味深い開発があるかもしれないことを示し、界面の近くに集中した思いがけず高いキャリア移動度を持った酸化物界面を使用している」とブラコフスキーは語った。

「SketchFET」トランジスタは自由自在に消すことができ、また高密度メモリや、配線、あるいはカーボンナノチューブから作られた超高感度検知器と競合できる化学センサーのような他のデバイスと置き換えることができる。レヴィーが提案するセンサーの高感度領域は、単一分子と同じ大きさになるので、単一の分子の存在あるいは欠如を検知するために使用することができ、化学的・生物学的センサー技術として理想的になるということを、彼は説明した。

さらに、これらの部品の大きさは、通常のコンピューターではシミュレーションが複雑すぎる量子力学の基本特性を観察することができるような寸法である。電子が禁止帯を通り抜ける、いわゆる量子トンネル効果が直接に観察され、制御された。このような振る舞いは、さらに、斬新な電子材料の量子シミュレーションに、また量子コンピューターの構築に、役立つであろう。

ピット・チームは、概して、ナノテクノロジーを研究し、様々に応用させるために、比較的現実的な方法を導入している、とハーバード大学工学応用科学部の応用物理および電

気工学ゴードン・マッカイ研究室のイーヴリン・フー教授は語った。

「彼らは、原子間力顕微鏡によりパターンを描くことによりオンデマンドでデバイスを作成した。また、その際に彼らは、多数の新しい用途を開発している。空のシートを使い電子機能を描くことは十分に達成した、しかし、そのことを行うために、まずそれを消し、完全に異なる機能を作成できることは、本当に強力である。彼らは、多くの形式を受け入れることができる新技術の基礎を築いた」とフーは語る。

「彼らのアプローチは、ナノエレクトロニクスのための特別な利点を持っている。ナノスケールデバイスを研究することは、通常、部品構造の正確な定義と配置を必要とする。デバイスや構造の微細調整は、多くの場合退屈で高くつく作業である。しかしながら、この方法は、最初の調製の後に、デバイスを形成し再形成する際の容易さと柔軟性を可能とする。これらのデバイスは、組立てと電荷生成において、ユニークな可能性の認識とナノ規模の問題を明らかにした」と彼女は続けた。

「Etch A Sketch™」プロセスのアイデアは、ドイツのアウクスブルク大学へのレビューの訪問によって始まった。そこで「サイエンス誌」論文の共同執筆者、ヨーヘン・マンハールトと彼の学生のステファン・シールが、全界面がどのように導電状態と絶縁状態との間で切り替えが可能かをレビューに示した。ナノ規模でプロセスを適応させることをレビューが考え、そして彼の学生と共同執筆者のチェン・センがその考えを結実させた。

(出典 : Credit: University of Pittsburgh,

<http://mac10.umc.pitt.edu/m/FMPro?-db=ma.fp5&-format=d.html&-lay=a&-sortfield=date&-sortorder=descend&keywords=SketchFET&-max=50&-recid=37773&-find=>)