Is this what it takes to save the world?

地球冷却計画

Nature Vol.447(132-136)/10 May 2007

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

ピナツボ山が成層圏にまき散らした二酸化硫黄は、太陽光線をさえぎった。

AP IMAGES

「地球工学」によって人為的に気候を変えるという発想は、いかがわしいものとして長らく異端視されてきた。しかし最近になって、見直されつつあるようだ。Oliver Morton記者が報告する。

1991年6月の第1週。米国のローレンス・リバモア国立研究所（カリフォルニア州）の気候物理学者Michael MacCrackenは、地球を冷やす技術的な方法について議論するために、フロリダ州パームコーストで開かれた小さな会議に出席していた。彼はそこで、二酸化炭素を地中に埋める方法から、大気中の煙霧により宇宙に跳ね返される日光の割合を増やす方法まで、過去数十年間に提案されたさまざまな方法を検討する論文を発表した。

同じころ、地球の裏側のフィリピンでは、地下数キロメートルにある高温のマグマに溶け込んだ約2000万トンもの二酸化硫黄（SO_2）が、地球を冷やす方法をMacCrackenや会議の出席者たちに披露するための準備をしていた。

そしてパームコーストでの会議が終わった次の日、ピナツボ山の噴火口に最初のマグマが現れた。以後、ピナツボ山は1週間にわたって規模を大きくしながら噴火を繰り返し、6月15日には大噴火を起こした。溶岩、火山灰、火山ガスから成る噴煙が大気中に立ちのぼり、その高さは40キロメートルに達した。噴煙に含まれる二酸化硫黄の大半は小さな粒子の雲になって高さ20キロメートル以上の成層圏に広がり、以来数年間にわたってとどまった。硫酸塩でできた薄いベールは、地球に届く日光を散乱した。地球の空は少し白くなり、夕焼けはより美しくなり、気温は少し下がった。

ピナツボ山から噴出した粒子による気温の低下は、人工火山（高高度の大気中に硫黄を散布する技術）の効果としてMacCrackenが会議で示した数字とほぼ一致していた。このときエルニーニョが起きていなかったら、1992年の世界の平均気温は1991年に比べて0.7度低くなっていただろう。火山による冷却効果が証明されたこの時期は、気候変動への取り組みにとって非常に重要な時期だった。温室効果による地球温暖化を警告する「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」の最初の報告書が発表されたのは、ピナツボ山噴火の前年のことだった。また、「気候変動に関する国連枠組条約」（UNFCCC）が署名のために開放されたのは、ピナツボ山から噴出したエアロゾル（煙霧質）がまだ空を明るくしていた時期だった。読者の方々は、世界中の

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

人々が地球温暖化の可能性に気づき始めたときに、このような冷却現象が起きたのだから、MacCrackenが論じたような人工火山に関する議論はさぞかし盛り上がっただろうと思われるかもしれない。

地球工学の後退と復活

しかし、事態はその反対の方向に進んでいった。地球温暖化が現実の重大問題としてとらえられるようになると、気候学者たちは地球工学の議論を敬遠し、温室効果ガスの排出量を早急、かつ大幅に削減しなければならないという主張を繰り返すようになった。地球工学による気候の操作は、温室効果ガスの排出削減という課題から逃げるための危険な考えとみなされるようになった。ピナツボ山噴火後の15年間、地球工学の機運は衰えた。1995年から2005年にかけては、現実に地球を暖めている日光を直接的にどうにかするための研究よりも、将来、地球を危機に陥れるかもしれない小惑星への技術的対応に関する研究のほうが盛んだった。

気候学者の大部分は今も、地球工学に対して深い疑念やあからさまな敵意を向けている。その多くが、地球工学は社会の化石燃料への依存を助長すると主張する。ドイツのマインツにあるマックス・プランク化学研究所の大気科学者Meinrat Andreaeは、「地球工学は、麻薬常習者が自分の子どもから金を盗む方法を考えるような学問だ」と切り捨てる。しかし、この1年の間に地球工学は息を吹き返し、失った時間を取り戻そうとしているようにみえる。特に、太陽光線が地球に届く前にその一部をさえぎるというアイデア（遠回しに「放射調節」とよばれることがある）は、それをどのように、なぜ、いつ行うかについての新しい提案とともに、これまでにない注目を集めるようになっている。2007年5月初めに発表された最新のIPCC評価報告書は、こうした考えを一蹴したが、地球の温度が上昇しつつあるなかで、それを阻止する思い切った手段に出ることの必要性も強調している。そして、思い切った手段といえば、地球工学である。現在はワシントンDCの気候研究所の主任科学者であるMacCrackenは「うっかり何かをしてしまったのなら、それを打ち消すために何かをすることができるのではないか、と考えるのは自然なことだ」と話す。

1991年のピナツボ山の噴火は、夕焼けを以前（下）よりもずっと明るくした（上）。

NASA

地球工学への関心が高まるきっかけとなったのは、Andreaeの友人であり同僚でもあるPaul Crutzenが2006年8月に*Climatic Change*誌に発表した記事だった[1]。この記事が取り上げた研究の大半はピナツボ山の噴火以前に論文になっていたものであったが、記事を書いたのがCrutzenであったために、大きな影響力をもつことになった。スタンフォード大学（カリフォルニア州パロアルト）の気候学者であり、この雑誌の編集者であるStephen Schneiderは、「この場合は、メッセージを発した人物がそのままメッセージになった。オゾン層破壊の危険性があることを早い時期に示したノーベル賞受賞者（1995年度化学賞）であり、環境保護全般に積極的に取り組んでいるCrutzenが、環境的に考えられないような方法を検討したのだから、大きな注目を集めるのは当然だった」と話す。Crutzenの同僚であるAndreaeが、この記事を発表しないよう彼を説得しようとしたのもまさにこのためだったのだ。

世界を救う大気汚染

この記事で印象的なのは、著者の名前だけではない。彼は、この問題を極めて冷静に分析しているのである。Crutzenは、人類は毎年、大気中に1億トンの二酸化硫黄をまき散らしており、これは少なくともピナツボ山5つ分に相当すると指摘した。残念ながら、この硫黄が作るエアロゾルは、私たちが呼吸している大気の低層にとどまって人体に悪影響を及ぼしており、毎年50万人の早すぎる死の一因となっていると見積もられている。しかし、大気の低層にある硫酸塩も太陽光線が地表に届くのを防いでいるので、これを除去すると地球温暖化を加速させてしまうことになる。

Crutzenは、硫黄換算で毎年100万～200万トンの二酸化硫黄を成層圏にまくという案を検討した。成層圏で形成されるエアロゾルは長持ちするので、低層大気の短命のエアロゾルを除去しつつ、太陽光線をさえぎる効果を持続させることができるからである。

Crutzenは記事の始まりと終わりの両方で、自分は温室効果ガスの排出削減によって地球温暖化を防ぐことを望んでいるのだと強調した。しかし今のところ、それを楽観できる根拠はほとんどない。温室効果ガスの排出削減には数十年、数世代の時間がかかるが、硫酸塩エアロゾルならすぐに地球を冷却できる。状況が本当に悪化してきた際には、エアロゾルを使って急速冷却を行うことができるだろう。

米国立大気研究センター（コロラド州ボールダー）のベテラン気候学者であるTom WigleyはCrutzenの論文を見て、そうした計画が短期間でどのような成果をもたらしうるかを調べることにした。そして、硫酸塩の冷却効果はすぐに現れるため、温室効果ガスの排出削減の効果が現れ始めるまでの時間かせぎに使える可能性があることがわかった。Wigleyは、ごく単純な気候モデルを使って、今世紀中ごろの大気中の二酸化炭素濃度を450ppmにとどめられる可能性を調べた（産業革命前は280ppm、現在は381ppm）。二酸化炭素濃度が450ppmを超えなければ、

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

将来の気温上昇は2度以下に抑えられる可能性が高い。しかし今では多くの人が、これを450ppmに抑えることは困難だと考えるようになっている。

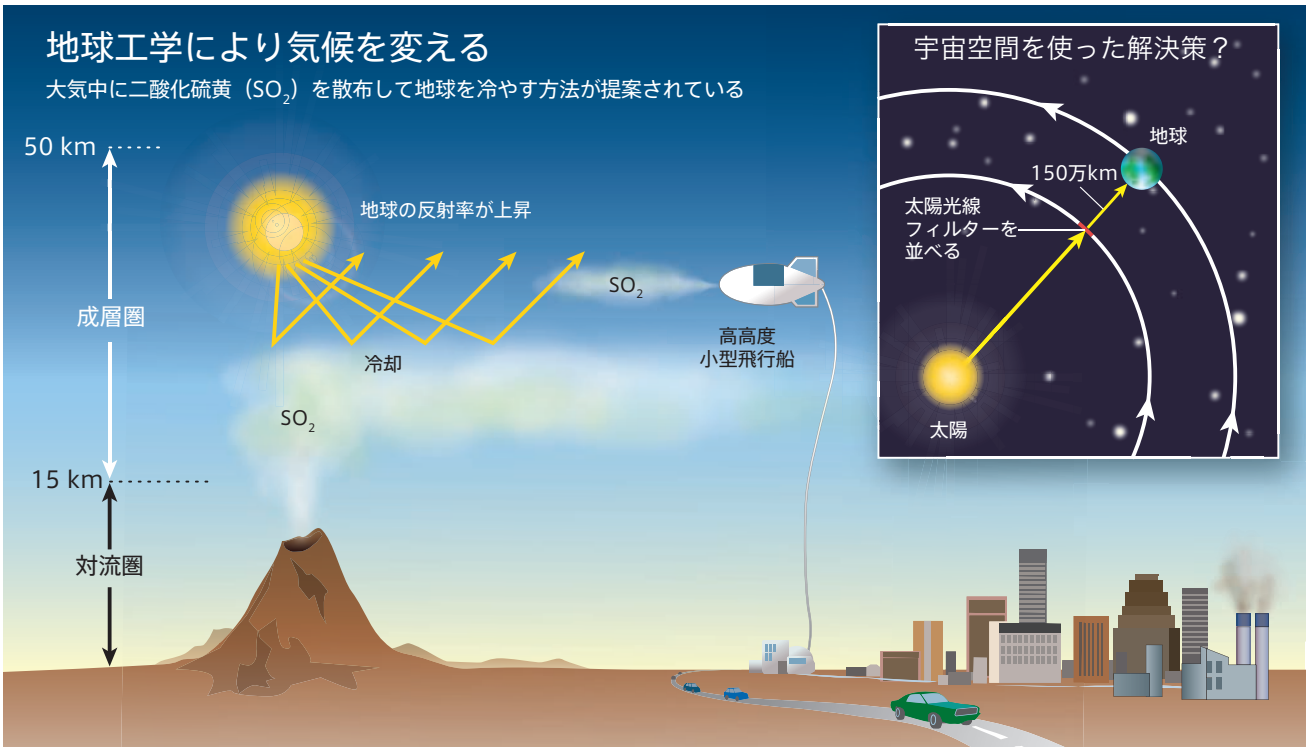
Wigleyは、わずかな地球工学により、目標とする気温をはるかに容易に達成できるかもしれないと主張した[2]。例えば、上層大気への硫酸塩の注入を早急に開始し、2年ごとにピナツボ山の噴火に相当する量を注入できるようにする。その後、注入を段階的に削減し、80年後にはゼロにするのである。これにより、今後数十年にわたって二酸化炭素排出量が増加し続けても、硫酸塩による冷却効果で、二酸化炭素排出量の増加を直ちに止めた場合と同程度の気温上昇にとどめることが可能になる。Wigleyのモデルでは、大気中の二酸化炭素濃度のピークが500ppmを大きく超えてしまった場合でも、気温は、（二酸化炭素削減だけで）苦労してこれを450ppmに抑えた場合と変わりはないという結果になった。それでもなお、今世紀の半ばすぎから二酸化炭素排出量を大幅に削減していかなければならないのだが、数十年の猶予が与えられることが重要なのだ、とWigleyは考えている。

二酸化炭素削減は不必要？

硫酸塩をまくことで、二酸化炭素の排出削減の効果が現れるまでの数十年の時間かせぎが可能になるのなら、硫酸塩をまき続ければ、二酸化炭素の排出を削減せずにすむのではないだろうか？　Wigleyは、それではダメな理由を1つ指摘している。二酸化炭素は地球を温暖化させるだけではなく、海洋を酸性化させるからだ[3]。二酸化炭素濃度が増加し続けた場合、硫酸塩をまくことで温暖化効果を打ち消すことができたとしても、サンゴや甲殻類、ひいては海の食物連鎖全体に壊滅的な打撃を与えることになる。実際、地球工学の最も強力な支持者でさえ、二酸化炭素の排出削減の必要性を無期限に延期できるとはいっていない。カリフォルニア大学アーバイン校の宇宙物理学者Gregory Benfordは、著名なSF作家であり、地球工学の熱烈な支持者でもあるが、その彼でさえ「穴を掘っている人がそこから出たいと思うなら、掘るペースを遅くするのが賢明だ」と話す。「しかし、はしごも必要だ」と彼はつけ加える。

実施期間を厳しく制限した計画でも、潜在的な危険性はある。Wigleyのモデルは地球の平均温度しか扱っておらず、現実の気候システムはそれよりはるかに複雑である。地球工学を疑っている気候学者たちは、以前から、二酸化炭素から予測される温暖化パターンと、エアロゾルから予測される冷却パターンとは、空間的にも時間的にも食い違っているはずだと指摘してきた。エアロゾルが冷却効果を発揮するのは太陽が輝いている間だけであり、太陽が最も輝いている地域で最も効果が高い。つまり、エアロゾルの冷却効果があるのは日中だけであり、大きな効果が得られるのは夏と熱帯地方である。これに対して温室効果ガスは夜も昼も温暖化効果があり、その効果は極地で最も大きくなる。この2つの因子は、地球平均では互いに打ち消し合うかもしれないが、地域ごとの気候の作用を根本的に変えてしまうというわけだ。

Ken Caldeiraは、リバモア研究所にいた2000年に、この不一致がどれほど大きいかを詳しく調べることにした。彼は同僚のBala Govindasamyとともに大気大循環モデルを使い、二酸化炭素濃度が2倍になった世界と、二酸化炭素濃度が2倍になると同時に日射が1.8パーセント減



©2007 NPG Nature Asia-Pacific

少した世界とを比較した。二酸化炭素濃度が2倍になっただけの世界では、地表面積の97パーセントが統計的に有意に温暖化した。これに対して、エアロゾルによる冷却効果もある世界では、この数字はわずか15パーセントという低さだった[4]。

温暖化をキャンセル

この結果はCaldeiraを驚かせた。彼がこの研究を行った理由の1つに、同僚のLowell Woodに地球工学の複雑さを示したいという気持ちもあったからである。Woodは、ロナルド・レーガン元大統領の戦略防衛構想（SDI）の基礎となったX線レーザー計画など、過激な提案をすることで有名であり、1990年代には放射調節に夢中になっていた。ちなみに、Woodの恩師であり、水素爆弾の生みの親であるリバモア研究所のEdward Tellerも放射調節を支持し、ウォールストリート・ジャーナル紙上でこれを擁護した。地球工学は、当時からすでに環境への悪影響を心配する気候学者たちの間で悪評を買っていたが、もしそれがなければTellerのおかげで人々に広く受け入れられたかもしれない。

世界が単純な物理モデルよりも複雑だということを示したがったCaldeiraの研究は、地球工学の怪しさを際立たせるどころか、その威力に裏づけを与えることになってしまった。そのせいなのかもしれないが、これに続く研究はほとんど行われなかった。6年後になってようやく、Crutzenの論文の影響で、大気大循環モデルをもつほかの研究者たちが放射調節について調べ始めた。例えばWigleyの同僚のPhil Raschは、2007年4月に米国立大気研究センターで開かれたセミナーで、予備的な研究結果を明らかにした。今回も、温室効果ガスによる温暖化とエアロゾルによる冷却は、驚くほどよく打ち消し合っていた。しかし、両者の差はゼロではなく、ある場所では温度が変化し、またある場所では降水量が変化していた。ただし、その変化量は温室効果ガスだけの世界で予測されるほど大きくはなかった。

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

光を弱くする：地表に届く太陽光線は大気汚染のためにすでに減少している。

G. LUDWIG/PANOS

Caldeira自身も最近、地球工学の推進派ではないことを強調しつつ、2000年に使ったものとは別の大気大循環モデルを使って、この問題を再検討した。その結果は以前と同様になったが、温度の変化に比べて降水量の変化がやや大きくなっていた。また、地球工学により自然界の炭素貯蔵庫が拡大する可能性があることもわかった。二酸化炭素の量が増えると植物は活発に成長するようになり、より多くの二酸化炭素を吸収するようになる。温室効果だけの世界では、この効果は、温度上昇が土壌細菌の呼吸に及ぼす効果（温度が高くなると、細菌はより多くの二酸化炭素を排出するようになる）によって相殺されてしまう。これに対して、温室効果と冷却効果の両方がある世界では、植物が吸収する二酸化炭素の量が増える一方で、細菌が排出する二酸化炭素の量が抑えられるので、より多くの二酸化炭素が消費されることになるのである。

不確かな基礎

ニューヨーク州にあるNASAゴダード宇宙研究所の気候モデル作成者たちも、大気大循環モデルを使って地球工学の効果について調べ始めた。英国気象庁ハドレーセンターやマックス・プランク研究所で大気大循環モデルを使っている研究者たちもこの動きに興味を示しており、おそらく彼らも研究に着手することになるだろう。しかし、Raschはこうした研究は時期尚早だと警告する。地球工学が約束するものとその問題点をきちんと理解するためには、気候変動の自然科学に関するIPCCの大量の報告書の基礎になった研究に匹敵する取り組みが必要であり、世界中の研究グループが何年もの間研究に専念しなければならない。批判的な人々は、それでも不十分だというだろう。大気大循環モデルは役に立つ道具だが、それで気候システムを完全に理解できるわけではない。そうした理解の欠如こそは、地球工学に批判的な人々が、その最大の科学的問題として指摘しているものなのである。

Crutzenらが地球工学を研究するのは、予期せぬ大変動が起きて、緊急に対処する必要が生じてくるかもしれないと考えるからである。けれどもほかの人々は、まったく同じ理由から、地球工学は根本的に使えないと考えている。各種のモデルは、二酸化炭素濃度が上昇すると地球が温暖化し、気候パターンが変化するという点では一致しているが、温暖化の程度や気候がどのように変化するかについては一致していない。実際、このよ

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

うな不確かさが、気候変動の問題を非常にむずかしくしているのである。マサチューセッツ工科大学（同州ケンブリッジ）の気候学者Ronald Prinnは、「その挙動さえ理解できていないシステムを、どうやって操作できるというのか?」と問う。

この疑問への1つの答えは、「できるだけ注意深く、可逆的に操作すればよい」である。CaldeiraとMacCrackenは今、WoodとBenfordとともに、北極圏をねらった放射調節計画を検討している。Caodeiraは、最小の努力で最大の効果が得られるのは北極圏だと考えている。北極圏を冷やせば海氷が成長するし、海氷そのものにも冷却効果があるからである（海氷は夏に日光を反射し、温かい海水の上にかぶさることで断熱性の蓋にもなる）。また、北極圏の生態系は危機に瀕しているが、地球工学によって、そこに住む生き物たちを救える可能性もある。ピナツボ山が噴火した1991年から1992年の冬に生まれ、科学者たちが「ピナツボの子」とよんだシロクマの子らは、それに続く春、特別に長持ちした海氷の上で大きく強く成長することができたからである。さらに、北極圏を冷却することで、温暖化によるグリーンランドの氷床の突然の融解（モデルでは予測されていないものの、常に懸念されている）を防げる可能性もある。

極地への注目

Caldeiraらは、北極圏を冷やすには地球全体を冷やすよりもずっと少ない材料ですむという。さらに、冷却材は春に、成層圏の低いところに散布して、その大部分が1年未満で地表に落ちるようにすることを提案している。太陽の見えない冬に反射層を設けても意味がないからである。人がほとんど住んでいない狭い地域で、1年単位で操作を行うこの方法は、地球工学者が提案する方法の中で最も影響が少ないものの1つである。技術的にも容易であり、貨物飛行機に硫黄散布用のパラシュートを引かせる方法や、高高度小型飛行船を使って長さ20キロメートルのホースで地上から二酸化硫黄を吸い上げる方法が考えられている。Woodによると、散布する二酸化硫黄の量は毎秒数十リットルで足りるという。硫酸塩粒子よりも反射率が高い材料を使うなら、必要量はさらに少なくなる。

しかし、控えめで局所的な地球工学でも、遠く離れた地域の気候に大きな影響を与える可能性がある。ラトガーズ大学（ニュージャージー州）のAlan Robockらは、ゴダード研究所の気候モデル作成者らと協力して、高緯度の火山の噴火により硫黄がまき散らされた場合の影響を調べた。つまり、Caldeiraらが考えている地球工学の自然現象版である。研究の結果、こうした噴火は気候に悪影響を及ぼす可能性があることがわかった。例えば、1783年にアイスランドのラーキ山が噴火したときには、インドのモンスーン（季節風）を弱めてしまっただけでなく、アフリカのサヘル地域の降水量も減少させてしまったと考えられるのである[5]。

過去の噴火が気候に悪影響を及ぼした可能性があるからといって、未来の地球工学により同じことが起こることは限らない。しかし、モデルのみを根拠にしてモンスーンに影響を与える可能性のある研究に乗り出したとしたら、モデルへの盲信、数億人の暮らしに対する配慮の欠如、破れかぶれなどの批判を免れることはできないだろう。

そうした問題が起こる原因の1つに、成層圏は自由に色をつけられるガラスのシートではないという事実がある。成層圏は循環するシステムであり、物理学と化学が互いに影響し合っている。成層圏は、その下の対流圏と複雑に結びついており、両者の関係は温室効果による温暖化のために変化しつつある。成層圏にあるエアロゾルは、含まれる粒子の大きさによって、地球を温暖化させたり冷却したりする。成層圏は、地球を構成するほかの大部分の要素に比べて単純な場所であるが（少なくとも生き物はすんでいない）、特有の複雑さをもっているのである。

この問題を回避できる魅力的な方法がある。成層圏よりもさらに高い軌道上に、オンにもオフにもできる「日よけ」を置くのである。この軌道上の日よけは、人工火山とほぼ同じ時代から提案されている。なかでも技術的に最も洗練されているのは、アリゾナ大学（アリゾナ州トゥーソン）のRoger Angelが2006年に発表したものである[6]。

宇宙の日よけ

従来の提案では、日よけを作るために人間を軌道に送り込んだり、月や近くの小惑星の資源を使ったりする必要があったが、Angelは別の方法で日よけを作ろうと考えた。彼がたどり着いた答えは、大型ゴミ箱の蓋ほどの大きさの、透明に近い飛翔体を大量に投入するという方法だった。飛翔体は事前に重ねて梱包し、巨大な電磁砲で地球から打ち上げる。この薄い飛翔体は、ほとんど常に地球と太陽の間に位置できるような軌道に入り、そこで包みを脱ぎ捨てる。Angelの計算によると、地球から185万キロメートル離れた飛翔体の雲の影は地球よりも少し大きくなり、地球に届く太陽光線を約1.8パーセント減少させる。Angelの提案の詳細は入念に練り上げられており、その費用はやはり天文学的で、約5兆ドル（約600兆円）に達する。これは米国の国防予算の10年分に相当する。電磁砲と、必要に応じてギガワットレベルの電力を送り込むのに必要な電力システムは、途方もない話ではあるが、かろうじて実現可能な範囲にある。本当に驚かされるのは、この計画を実現するのに必要な飛翔体の数だ。その数は16兆個。米軍は1年で15億個の弾丸を使っている。弾丸の100倍のペースで飛翔体を大量生産することができたとしても、十分な数の飛翔体を作るには1世紀かかることになる。

基準を設ける

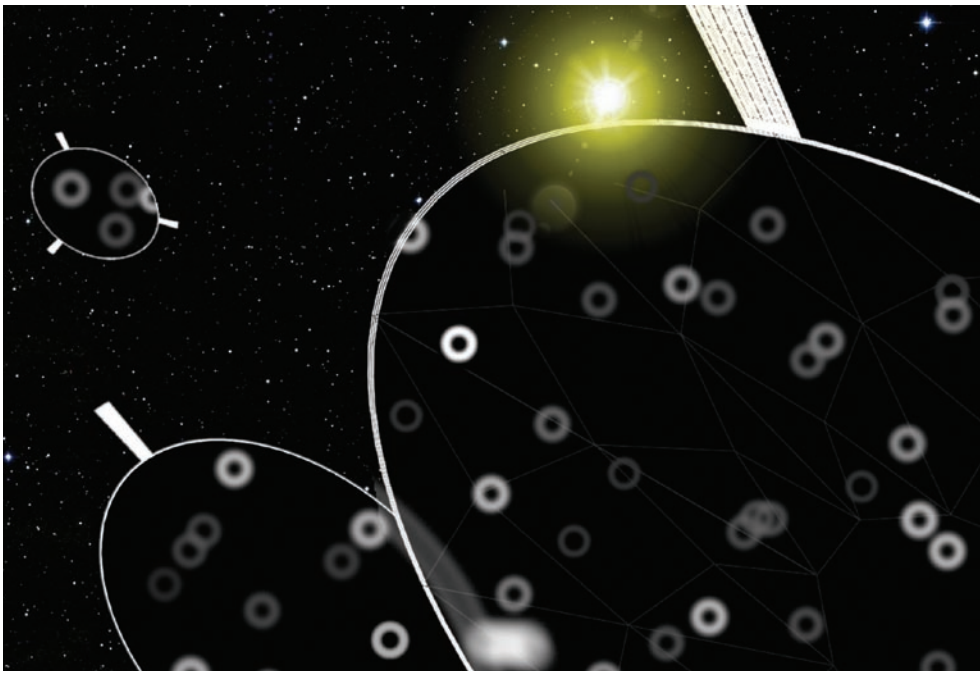
しかし、気候学者で米国科学アカデミー会長であるRalph Ciceroneは、この論文の綿密さを称賛している。Ciceroneは、「Angelは何度も検討を重ねた。この研究は、その正確さと完全さにおいて、ほかの研究の模範となるものだ」と主張する。彼やほかの多くの研究者は、

©2007 NPG Nature Asia-Pacific

地球工学研究については、学術的にすぐれていることを何よりも重視する。彼らの目的は、実行可能な解決法を見つけることではなく、まずい計画やばかげた計画をふるい落とすための基準となる、きちんとした科学研究を行うことにあるからだ。さもないと、地球工学と称する愚かな計画ばかりが増えてしまうおそれがある。Ciceroneは、機先を制する必要がある研究の実例として、1980年代に提案されたオゾン補充計画を挙げた。「当時、（科学者コミュニティーが）沈黙していたため、ひどいアイデアが幅をきかせることになった」と彼は語る。

Ciceroneは今後、しっかりした地球工学研究が大規模に行われて、約6年後に出る次のIPCC評価報告書に地球工学の章が設けられるようになることを望んでいる。彼はまた、地球工学の実践に向けた動きを一時的に凍結することに賛成し、多くの気候学者と同様、二酸化炭素の排出削減への取り組みが依然として最優先事項であるとも考えている。つまり、二酸化炭素の排出削減ではなく、地球工学によって地球を冷却するほうがよいと考えている研究者は、現時点ではいないのである。また、何らかの大規模操作を開始できるほど気候システムの解明が進んでいると考えている研究者もいない。地球工学がもたらすメリットを知るためのモデルは、地球工学を行わなかった場合の害を知るためのモデルに比べてはるかに正確でなければならない。Caldeiraがいうように、現状のままで問題が起こる可能性と起こらない可能性が五分五分であったとしたら、現状を見過ごすことは許されない。しかし、気候システムへの介入がよい結果をもたらす可能性と害をもたらす可能性が五分五分であるなら、介入は避けるべきなのである。

今はもう、こうした考え方をする状況ではないという少数意見もある。人類はすでに自然を操作しており、大気の窒素循環や炭素循環、放射バランスなど、あらゆるものに巨大な影響を及ぼしている。この意味で、人類は現に地球工学に着手しているのであり、あとはどうすればよりよく自然を操作できるかという問題しか残っていないというのである。しかし、この議論に同調する科学者はほとんどいない。カナダのカルガリー大学の気候学者David Keithが指摘しているように、自然をめちゃくちゃにすることは工学ではないのである。人類はこれまでにずいぶん自然をめちゃくちゃにする能力を発揮してきたが、そのほとんどは、生きるための営みの副作用として引き起こしてしまったものだった。しかし、それは工学ではない。工学は意図をもったものなのだ。



数兆個の薄膜状の飛翔体を使って、地球に届く太陽光線の一部をさえぎることができるかもしれない。

UA STEWARD OBSERVATORY

経済学者にして哲学者であるHerbert Simonが、目的と責務をもたない自然科学に相対するカテゴリーとして、社会科学や人文科学の一部とともに工学を「人工物の科学」という名で分類したのはこのためだ。

自然科学者の選択

気候学者たちはこの20年間、自身の研究の社会的、技術的、経済的影響に向き合ってきたが、彼らは「人工物の科学」の研究者ではない。ドイツのハンブルクにあるマックス・プランク気候研究所の気候モデル作成者Hans Feichterが、「地球科学者の役割は自然を理解することであり、それを変えることではない」というとき、彼は同僚研究者の大多数を代弁している。気候学者たちは、気候を変えるための大きな変化を擁護してきた。けれどもそれは、技術、地政学、社会規範における変化であり、「人工物の科学」にかかわるものである。彼らは、成層圏の働きや自然そのものを変えようといっているわけではないのである。

気候科学者たちはこの1年で、地球を意図的に変化させる道筋の研究に力を入れるようになった。とはいえ、その多くは、このような道筋のすべてが行き止まりであることをきちんと示そうとするものだった。彼らは自然科学を捨てて、人工の地球を作りたがっているわけではないのだ。■

Oliver Mortonはネイチャーのニュース・特集セクションのチーフエディター。

1. Crutzen, P. J. *Climatic Change* **77**, 211–220 (2006).
2. Wigley, T. M. L. *Science* **314**, 452–454 (2006).
3. Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide. Royal Society policy document 12/05 (2005).
4. Govindasamy, B. & Caldeira, K. *Geophys. Res. Lett.* **27**, 2141–2144 (2000).
5. Oman, L. *et al. Geophys. Res. Lett.* **33**, L18711 (2006).
6. Angel, R. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **103**, 17184–17189 (2006).

©2007 NPG Nature Asia-Pacific