

ジオエンジニアリング(geoengineering)について

地球の温暖化を防ごうと二酸化炭素の排出を減らそうという試みはなされているものの、一向に効果が上がっていません(*1)。ではどうしたらよいのか。そこで考えられているのが ジオエンジニアリングです。気候工学とも言います。ジオエンジニアリングとは、「人間の手で気候を変えよう」という研究・技術のことで、人工降雨のような局所的な話ではなく、地球全体に影響する話です。「ジオエンジニアリング」という語は地面業界の方も使うようですが、それとは異なる意味です。

現在、ジオエンジニアリングについて色々な研究が行われています。ジオエンジニアリングには大きく分けて2通りの考えがあります。一つが、地表に到達する太陽光を少なくしたり、地表から宇宙に熱が逃げやすくしたりする手法、もう一つが二酸化炭素を大気中から取り除く方法です。それぞれについて数多くの手法が提案されています。

まず、前者について述べます。これらの手法は、例えば、海水を上空に吹き上げて雲を多く作り海に吸収される光を減らす、などありますが、その中で最も有力な方法は「高度20から30kmの成層圏にエアロゾル(小さなチリ)を撒く」という方法です。理由は、

- 1年間で1,000億から1兆円あれば実行できる(すでに試算されています)。他の方法に比べ安価である。
- 冷戦時代に盛んだった核の冬(*2)の研究がそのまま転用できる。なお、核の冬の研究は今も行われています。
- 過去、火山噴火によってエアロゾルが成層圏に入り、地上気温が下がったことが何度もある。他の方法は一度も行われたことが無いので有効かどうか不明。

などなど。

といっても、何でもいから撒けばよいという単純なことではありません。この効果は、エアロゾルの種類・撒く高度と場所に依存することが数値実験で示されています。この手法の危惧されることとして、

- エアロゾルは徐々に減少するので、定期的にエアロゾルを撒かないといけない。二酸化炭素が減るわけではないので、散布を中断すると急速な温暖化が起こってしまう。未来永劫、撒き続けることが出来るのか？
- 二酸化炭素を減らすわけではないので、海が酸性になる。
- 副作用が分からない。
- 撒くエアロゾルの大きさによっては空が白くなる。星が見えづらくなる。

など。

もう一つの二酸化炭素を大気中から取り除く方法後者の手法は、例えば以下のようなものが提案されています。

- 光合成に必要な鉄が少ない南氷洋に鉄を撒いて、植物プランクトンの光合成を盛んにさせる。
- 地中深くに大気から回収した二酸化炭素を埋める。ただし、何らかの拍子で二酸化炭素が出てきてしまうとアフリカのニオス湖の悲劇のようになってしまう。
- 二酸化炭素からエタノールを作る(実験室では成功したという噂を聞きました)。

おそらく、二酸化炭素からエタノールを作ることが最も世間に受け入れられる気がしますが、「この技術開発は行っていたけど結局出来なかった」とならないように、このようなさまざまな手法が考えられています。

現在のところ、ジオエンジニアリングの科学的な研究は進んでいないので、これの効果や副作用は極めて不確定です。しかし、ジオエンジニアリングの研究が進めば、ジオエンジニアリングが気候に与える影響の不確定さは、地球温暖化のシミュレーションのものと同程度かそれ以下にはなるでしょう。ジオエンジニアリングの実行は人間の

手で行うので、計算条件(エアロゾルの濃度や種類など)が既知であるため、自然に起こる現象の計算条件に比べれば、計算は精度良くできるはずです。

しかし、最も重要な点は、どの手法も「副作用が分からない」ことと思います。知識は完全ではありません。想定外のことが起こるから「想定外」という言葉があります。地球の気候のシミュレーション自体は、人間の手で気候を変えることはないのです、間違っても自然を変えることはありません。しかし、ジオエンジニアリングの実行は、想定外に変える可能性があります。

ところで、ジオエンジニアリングに心理的に拒否反応がある方が多いでしょう。ジオエンジニアリングに反対の方は、温暖化の悪影響を感じていないからでしょう。そのような方は以下をちょっと読んで考えてください。

(1) 私はキリバスという太平洋の真ん中くらいにある国で大潮を経験しました。キリバスには何度も行くのでそこには友達もいます。ほとんどのキリバス人は日本人にびっくりするくらい優しいです。ここ何十年かでその国が海に沈んでしまうことが起きてしまったら、耐えがたいものです。そんなことは何とか食い止めないといけません。キリバスの人たちが移住できるように、すでにフィジーに土地を購入しました。フィジーに移住できたとしても、その先で自立した生活が送れるようになるには、それぞれの社会が違うのでキリバスの人たちには相当な無理が強いられることになるでしょう。

(2) 考え方を変わると、今、まさにジオエンジニアリングを世界中で行っています。人間の活動によって二酸化炭素を増え、気温が暖かくなり、その影響でどんなことが引き起こされるか、という知見はすでに一般に認知されています。悪影響を知りつつ二酸化炭素を日々排出しています。生活するために二酸化炭素を排出し、気温を暖めています。この日々の生活と、上に挙げたジオエンジニアリングを実行することの差は何でしょう。

(3) 原田正純さんの「水俣学講義」などで水俣病の社会的な背景を知ると、水俣と温暖化による海面上昇の問題と類似点が多いのに気がつくと思います。戦後復興に大いに貢献している素晴らしく優良企業だった工場と社会的弱者が多かった漁師さんたちと天秤にかけ、昔の日本人は工場を選択しました。これが当時の多くの方が持っていた倫理観です。さらにその昔、銅の需要が急増した日清・日露戦争の時代、足尾銅山と谷中村やその周辺の方々の生活を天秤にかけ、やはり私たちは弱い人たちを切り捨てました。もし、研究者の予想通りに海面が上昇し島嶼国が水没したならば、被害は渡良瀬遊水地の比ではありません。その時、将来の人たちは現在の私たちとその倫理観をどう思うでしょうか。現在の私たちと昔公害をまき散らし擁護した人たちと区別できるでしょうか。

色々な名言があります。愚かな人は経験から学び、賢い人は歴史から学ぶ(ビスマルク)。さらに興味深い言葉があります。人間が歴史から学べることは、人間は歴史から学ばないことだ(投資家のバフェット氏だったか?)。これらの言葉を踏まえて、歴史を思い返してみてください。

気温は暖かくなり続けています。また、ジオエンジニアリングの研究は今後どんどん進んでいきます。学会の発表数・論文数は増えています。洋書を取り扱っている HP で geoengineering を検索してみてください。アメリカでは最近になり急にジオエンジニアリングの本が出ていることが分かります。

まだジオエンジニアリングが本当に盛んになるのかなあ?と思う方もおられるでしょう。2000 年頃、某大手新聞に研究成果を発表しました。そのとき、「地球の温暖化に役に立つ」と言っても一般の人には分かりづらいという理由で、成果は役に立たないのに「天気予報に役に立つ」と内容を意図せず修正させられました。誰もが知る全国紙の新聞社でさえ、温暖化では記事にならないから研究者の言うことを聞かずに自分たちで想像し記事を書いた時代でした。当時、温暖化というのは一般的ではなかったのです。ところが今はどうですか。子供でも温暖化を知っています。今は専門家できさえも「ジオエンジニアリング」はあまり知られていませんが、10 年後、ジオエンジニアリングが一般の人たちを巻き込んだ大きな議論になっていても全く不思議ではありません。

少し斜めに構えて考えてみましょう。最も安い成層圏にエアロゾルを撒く手法でも年 1000 億円かかります。これは富豪であれば個人でも毎年のように出来る額です。結構簡単に出来るお話です。もしこれが富豪でさえも何度も実行できない程度の額であっても、しばらく後にそれを安くする技術が開発されるでしょう。近い将来、やる気になれば個人・団体でもジオエンジニアリングが出来るようになるでしょう。

「世界に影響のあるジオエンジニアリングは、発言力の強い国または世界中の合意がないと実行できるはずがないから、出来っこない」と思うかもしれません。たしかに温暖化で利益を得そうな国はあります。でも本当に出来ないでしょうか。力の強い国が、温暖化で不利益になると考えたり、ジオエンジニアリングが利益になると考えたりしたら、その国はどう動くでしょうか。

ジオエンジニアリングをやってもやらなくても異常気象は起こるでしょう。同じ異常ならば気温を冷やす方向に働く異常の方をとった方が良くないですか。

私はジオエンジニアリングの科学研究は推奨すべきと考えています。将来の不確定な気候に対して多くの選択肢を用意する必要があると考えているからです。「何となく不安だから」としてジオエンジニアリングの研究を否定する人は、大潮の島嶼国に行って再考すべきです。普段の日常生活で目に見えて温暖化の影響が表れてから研究をし始めるのは手遅れです。少々のジオエンジニアリングの実証実験もすべきでしょう。

ヘブライ文字の最初と最後と真ん中の文字を取って出来たエメト(真実)という単語は、「真理は両極端ではなくその中ほどにある」というのが成り立ちだそうです。「ジオエンジニアリング否定」の端と「ジオエンジニアリング推奨」の端とで分かれていては何も進みません。中ほどを見出すためにも研究自体は推奨し、ジオエンジニアリングを深く理解すべきです。Google scholar で geoengineering を調べると、科学より倫理の研究が多いようです。倫理ではジオエンジニアリングの実際の影響は分かりません。

ジオエンジニアリングで本当に温暖化問題が解決すればそれに越したことはありません。そうすれば、ジオエンジニアリングは夢のような技術・研究であるはずですが、しかし、完璧と思える技術も、実行してみなければ副作用は誰にも分からないのです。このため、私は今のところ本格的なジオエンジニアリングの実行には否定的です。その昔々、パンドラが箱を開けると、その副作用が世界中に散らばりました。しかし、幸いにして、あわてて閉めたその箱には「希望」が残りました。そもそも、ジオエンジニアリングの箱の中には「希望」はあるのでしょうか。希望の有無を知るためにジオエンジニアリングの研究を進めるべきではないでしょうか。

ジオエンジニアリングに興味をもたれた方は、杉山昌広さんの「気候工学入門—新たな温暖化対策ジオエンジニアリング」 「気候を操作する 温暖化対策の危険な「最終手段」」を一読されてはいかがでしょうか。中立な本です。

本文章を読んで、ジオエンジニアリングや環境問題に少しでも思いを巡らせて頂けたら幸いです。

2022/04/28

文責 [岩崎](#)

*1 地球は温暖化していないと主張する方々もいます。

例えば、「過去の地球は暖かかった」「長い地球の歴史から見ると大した変化ではない」という方がいます。しかし、その説の時間に注意して下さい。往々にして、証拠として挙げられているグラフの横軸の時間は 1 から 10 万年がひとメモリです。今、温暖化の議論しているものの 1000 倍くらい長い時間の話です。

その他に、かなり加工されたデータを使って温暖化していないと主張する方もいます。そのような話は、元のデータが何なのかを調べてみる必要はあります。

温暖化をしていないと主張する最も建設的で妥当な方法は、現在の数値モデルの実際のプログラムコードを手し、どの関数(サブルーチン)の何が間違っているのか、このモデルはよろしくない、こう改善すべきだ、と言う

ことだと思えます。この現象が無視されているからモデルが間違っている、と決めつけるのではなく、どうしたら数値モデルにその現象を取り入れるか提案することが大切と思えます。これが出来ない人の主張は聞くに値しないと思えます。

*2 核の冬

核戦争が起きると、地上のほこりや火災で発生する「スス」が成層圏に撒きあげられ、それらが太陽光線をさえぎって地表面を何年にもわたって冷やすだろうと言われていています。日光が遮られれば植物が育たないので、食料を得ることも困難になります。これが核の冬と呼ばれる現象です。

ところで、この研究自体、人間の思考力の弱さを表しています。つまり、核兵器が開発されて40年近くたった80年代初頭になって核の冬が存在に科学者が気がついたのです。地下・地上核実験は砂漠や海の上で行われました。ここでは大規模な火災が起きません。核の冬は、火災で作られたススが引き起こします。火災が発生するとどうなるか、40年間誰も気がつかなかったのです。