

第9回 環境サイエンスカフェ

テーマ 「地球温暖化は「怖い」か？」 ～温暖化リスクの全体像を探る～
 講師 江守正多さん
 (国立環境研究所 地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室長)
 日時 2012年6月27日(水) 18:30~20:00
 会場 サロン・ド・富山房 Folio
 参加者 38名



江守さん：皆さん、こんばんは。今日はよろしくお願ひ致します。

最初に簡単に自己紹介をさせていただきますが、僕がずっと研究してきたのは地球温暖化の予測です。気象学的な手法に基づいて大気と海のコンピューターシミュレーションを行い、このままいくと100年後に地球の温度は何度上がるとか、どこで雨が増えるとか、そういう計算をしていました。

「地球シミュレーター」というスーパーコンピューターが、いまから10年前に横浜にできて、当時はそれが世界最高速でした。事業仕分けで1番じゃなければだめかどうかで話題になったスーパーコンピューターがありました。これはその次に日本が世界一をめざしてつくり、そして世界一になった「京(けい)」というスーパーコンピューターです。この「京」も地球温暖化予測の研究に使ってはいます。

2002年にできた地球シミュレーターは、温暖化や地震といった地球の研究だけに使う、当時、世界最高速のスーパーコンピューターでした。それを使って温暖化予測の研究をするというプロジェクトで仕事をさせていただきました。それが2004年から2005年ぐらいのことです。

2007年、2008年、2009年には温暖化ブームがあったと僕は思っています。2007年には、元アメリカ副大統領アル・ゴアの『不都合な真実』という映画が話題になりましたし、IPCCの第4次報告書も2007年に出ています。

それから、京都議定書の第一約束期間が2008年に始まり、洞爺湖サミットがあり、2009年にはコペンハーゲンのCOPという国連の条約交渉会議がありました。それに至るくらいまでずっと、地球温暖化という問題は、国際的にも国内的にも世の中の中心なトピックとして働いてきたような気がします。

そんなふうに盛り上がっているから、お前の研究をいろいろところで話せと。地球シミュレーターは世界一なんだし、それで計算した結果、「温暖化はこうだ」という話をいろいろところでなさいということで、こういうところでお話する機会も増えました。テレビの温暖化の特番などにも出演させていただいたので、研究者としては、専門家ではない人たちとお話する時間をかなりもってきたほうだと思っています。

そうこうするうちに、日本では3.11の地震が起きました。その前から、温暖化は一時期、盛り上がったけど、だんだん皆さんも飽きてきているし

(笑)、経済も心配だし、円高も消費税も年金も心配で、温暖化のことばかり考えていると疲れるということで、優先順位がもたなくなってきたような感じがありました。そこに地震が来て、人々が心配するリスクは一気に地震、原発事故、放射能のほうに行って、「そういえば地球温暖化という話もありましたね」、というのが今なのではないかと思っています。

国際的にも、温暖化という問題が重要でなくなったわけでは決してないのですが、ユーロ圏の危機などいろいろな問題があって、政治的なプライオリティーが落ちているような気がしています。

では、温暖化はどうでもよくなったのかというと、そうではありません。温暖化という問題自体はなんら解決していませんし、人々の関心がどこかに行ってしまった分、対策の議論も遅れています。その間、大気中のCO₂は増え続けていることを考えると、むしろブームのときより悪化しているわけです。

僕はコンピューターでプログラムを運用して予測の研究をしていたのですが、そういう研究は、僕より若くてもっと上手な人がたくさんいるのでそういう人たちに任せて、これからは皆さんとのコミュニケーションみたいなことも含めて、この問題をトータルにどのように考えていくかという研究を始めようとしているところです。

「リスク管理」という言葉を前々から聞いていた方もおられるかもしれませんが、今回、3.11で原発事故があったりして、そういう文脈でもリスク管理がよく語られるようになったように思います。

リスクにはいろいろな定義がありますが、悪い出来事が、必ず起きて、被害はどのくらいになるかが分かっているわけではなく、起きるかもしれないし起きないかもしれない、そういう悪い出来事です。たちのいいものは、どのくらいの確率で起きて、起きると被害がどのくらいになるかが分かっています。しかし、たちの悪いものだと、確率も分からないし、起きたらどれだけとんでもないことになるのかもよく分からない。そういうものまで含めてリスクとっていいと思います。この温暖化をトータルに、リスクの問題として本腰を入れて考えようとしているのが、現在の僕とそ

の周りの研究グループです。

今日、温暖化すると何が起きて、それはどういう深刻な問題なのかという話を中心にしようかなと思ったのですが、皆さんから事前にいただいた質問や関心事項を拝見して、そのことだけより、もう少し全体的な温暖化の話、たとえば、太陽活動が弱まっているが本当に温暖化するのかといった話や、基礎的なところも含めたお話をしたほうがいいのではないかと思います。どのくらい怖いかなの話も後で少ししますが、今日は、それ以外の話もたくさんする予定です。



【図1】

最初に、宣伝で恐縮なのですが、2つ。1つは今日と同じタイトルがついています、『地球温暖化はどれくらい「怖い」か?』という本を大勢の仲間と一緒に今年4月に出版しました。技術評論社というところから出ています。(図1)

今日は個別のいろいろなリスク、たとえば生態系はこんなリスク、食糧はこんなリスクという話は、聞かれたら知っている範囲で答えますが、僕から積極的にはしません。個々のことに興味がありでしたら、ここに書いてありますのでよろしければご覧ください。

こちらは何年前に書いた、化学同人から出版された、『地球温暖化の予測は「正しい」か?』。タイトルのトーンが似ているのは、そういうトーンが好きなのでそうしてみたんですけど(笑)。

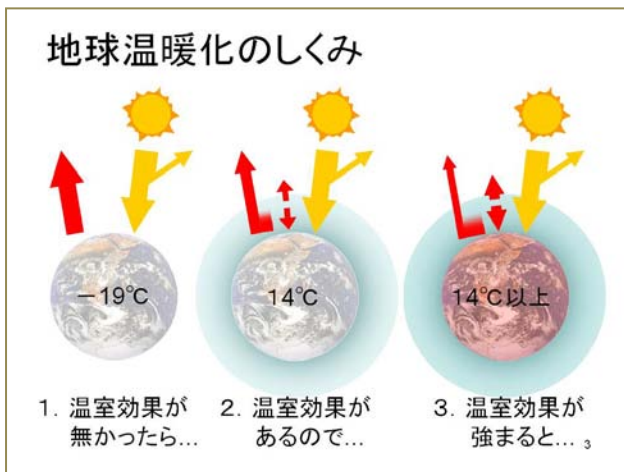
温暖化は嘘だという人が、2007年、2008年のブームの頃にもたくさんいました。それで、そういう本を書いたり、テレビで解説したりする人が出てきて、僕もテレビで討論させられたことが何

回かありました。そういう人たちが、シミュレーションはでたらめだとあまり言うもんですから(笑)。

それだけが理由ではありませんが、本当にやっている人はどう見ているのかということのを正直に書いたらどうなるか、それを書いてみたものです。最初にご紹介させていただきました。

本題に入ります。今日の話はゆっくりフルに話すと70分くらいかかる内容です。途中でご質問をいただいたりするともっとかかりますので、部分的に端折るかもしれません。ですから、適宜、止めて、ご質問いただいてけっこうですし、飛ばしたスライドを、「それを飛ばすな」ということがあれば、言っていただければ戻って説明するかもしれません。

これは本当に簡単に済ませますが、温暖化とは何かという話を念のためしておきたいと思います。(図2)



【図2】

地球は太陽からエネルギーをもらっています。一部ははね返しますが7割くらい吸収します。一方、地球は、宇宙に向かって赤外線という形でエネルギーを放出しています。地球に温室効果がなければ、赤外線が地面から宇宙にそのまま抜けてしまいます。そうすると、地球の温度はマイナス19°Cくらいになるはずですが。

実際には、地球には大気があり、温室効果があります。大気中の温室効果ガスは何をしているかというと、太陽の光は素通りさせますが、地球から出てきた赤外線の一部は吸収し、また吐き出し

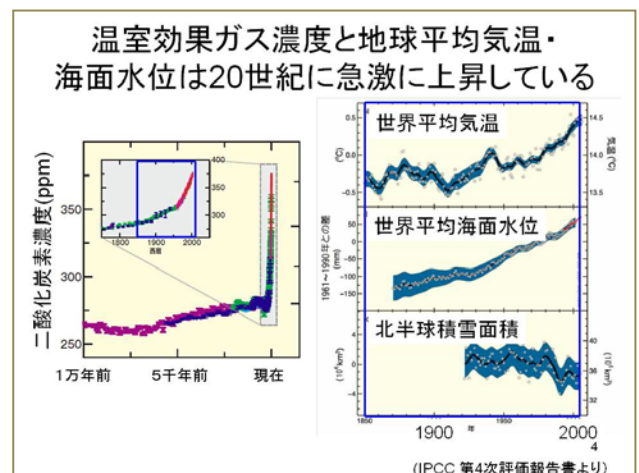
ます。宇宙に向かって放出しますが、地面に向かっても放出しています。

地面は、このときと比べて、大気から戻ってくる赤外線の分だけ余分にエネルギーを受け取ることになりますから、それと釣り合うまで温度が上がろうとするとおおよそ14°Cになります。これが、我々が住んでいる地球の実際の温度です。温室効果がたまたまこのくらいあるので、地球はこのくらいの温度であり、その上に我々は、いまの文明を築いているということです。

温暖化というのは、この温室効果が強まってしまうことです。人間が大気中に二酸化炭素や、それ以外にも温室効果ガスを増やしていることによって、赤外線がよりたくさん吸収され、よりたくさん地面に向かって戻ってきますから、このときと比べて温度が上がる。これが地球温暖化です。この点はよろしいでしょうか。

このこと自体は非常によく分かっているわけですが。元をたどると、基本的な量子力学や、分子がどういう波長の電磁波を吸収し放出するかといったことから、物理的によく分かっている法則に基づいて組み立てられる話です。

このこと自体は文句ないと思うのですが、太陽の影響はどうなのかとか、本当に二酸化炭素が増えたとき地球の温度はどのくらい上がるのか。そういったあたりで違うことを言う人が出てきたり、専門家によっても見積もりが異なったりすることなのです。



【図3】

温暖化が既に起きているかどうか。この話も簡単にしますが、これは過去1万年の大気中の二酸

化炭素濃度です。1万年、あまり変わらずにきましたが、最近、上がっています。拡大したものがこれで、この200年くらいの間にぐっと上がっています。(図3)

人間が木を切ったり、石炭、石油、天然ガスを燃やして、産業革命以降、CO₂を大気に出しながら産業を発展させてきました。エネルギーを取りだしてきたことによって、大気中にCO₂が増えています。人間が出したCO₂は、一部は海や植物といった自然が吸収してくれますが、残りは大気にとまっていきます。そのこととつじつまが合うような、明らかに自然ではあり得ない異常な上昇の仕方をしています。

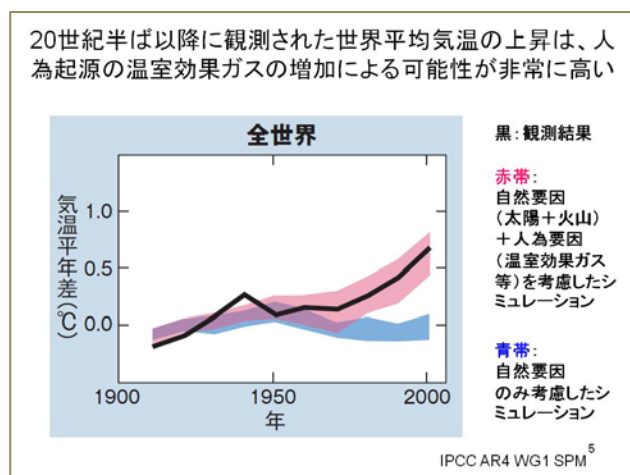
二酸化炭素以外にも、メタンなどのほかのものも増えていますが、その間、地球は暖かくなったかということ、これは過去150年くらいです。拡大したほうの図で青く囲ったところは同じですが、この過去100年、150年で、世界の平均気温が0.7℃くらい上がっています。世界平均で海面水位は17cmくらい上がっています。そして雪の面積は減っているということで、少なくとも過去100年、20世紀の傾向としては地球は暖かくなっています。これも間違いなさそうだということになっています。

では、これとこれには本当に因果関係があるのかが、次に重要になります。これはIPCCの2007年に出た第4次報告書の重要な結論ですが、ここに書いてあります。20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇は、人為起源の温室効果ガスの増加による可能性が非常に高い。(図4)要するに、過去50年くらい気温が上がっていますが、それは、人間が二酸化炭素などを出したせいである可能性が非常に高いと。IPCCの言葉で「可能性が非常に高い」というと、90%以上の可能性であるということです。

なぜそんなことが分かるかということ、どこかで聞いた方もいらっしゃると思いますが、これは大事なので以下でよく説明します。

これは、過去100年の全世界の平均気温の変化を表しています。黒い線は観測です。実際に温度計で世界中で測られた気温の変化です。(図4)

これは、描き方は違いますが、先ほどのこれと同じもので、100年間で0.6~0.7℃くらい上がっています。これをシミュレーションするわけです。



【図4】

シミュレーションは後でもう少しご説明しますが、物理法則に基づいて、20世紀の地球の温度変化がどうなるかを理論的に計算します。それで出てきたものがこの赤と青です。赤と青は、計算したときに与えた条件が違います。

赤いほうは、過去に地球の温度を上げたり下げたりした原因となったはずの、我々の知る限りのいろいろなこと。それを、なるべく全部インプットして計算したものです。

大きく分けて、自然の要因と人為的な要因があります。自然の要因というのは、人間のせいではないことです。人間が変えようとしてもどうしようもない、太陽の活動の変化、火山の噴火などです。これの過去100年のデータを入れてみます。

人為的な要因というのは、人間活動によって生じた原因。これは二酸化炭素の増加や、ほかの物質を大気中に人間が出したということです。

これを両方入れて計算するとこうなります。一部、合わないところもありますが、最近50年くらいは、観測された気温上昇とつじつまがあっています。

一方、青いほうは、大きく分けて2つあるうちの片方だけ。人間がやったことはなかったことにして、自然の要因のデータである、20世紀に起きた太陽活動の変化と火山噴火のデータだけインプットして計算しています。

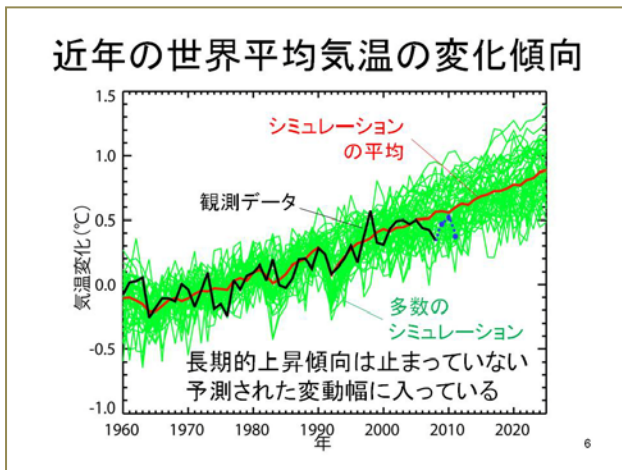
つまり、現実には二酸化炭素は増えているのですが、もし増えていなかったら、人間がいろいろなものを出していなかったら。そういう条件で計算すると、むしろ最近50年くらいは下がっていて、

観測された気温上昇とつじつまが合いません。これが現在、気候の研究者が、既に温暖化は起きていると考える基本です。

ですから、二酸化炭素は増えているし気温も上がっているから、きっとそのせいだろうとなんとなく言っているのではなく、この程度の計算はしているということです。

そうはいつても、最近、気温は上がっていないじゃないかという話があります。これは語り出すといろいろな話があるので簡単に済ませます。

先ほどの10年平均の折れ線(グラフ)ですから、短期的な変動は消して長期的な傾向だけを描いていますが、世界の平均をとっても、気温は年ごとにガタガタしています。(図5)ある年は高い、別の年はたまたま低い、また高い、低いと。たとえば日本の夏も、暑い年があったり涼しい年があったりしますよね。世界を平均するとずいぶんならされますが、それでもこれくらいガタガタします。



【図5】

つまり気温というものは、不規則的な変動を勝手にするものだ。我々は「自然の変動」と呼んでいます。普通ですが(苦笑)、自然の変動をします。温暖化というのは、ガタガタしながら、それが長期的に上がっていく傾向をいいます。

この黒い線が、実際に観測された年ごとの世界平均の気温の変化です。1998年に非常に強い「エルニーニョ現象」が起きて、世界の平均気温が上がりました。そして「ラニーニャ」が起きて少し下がった年が続いて、またちょっと上がりましたが、そこからまた下がりました。これが2008年

です。2009年、2010年、2011年、そして現在に至るということです。ここだけ見ると温暖化していないように見えます。人によっては、この部分のグラフを取りだして、「ほら、最近、温暖化していないじゃないか」と。太陽も弱まっているし、温暖化は止まったみたいだし、温暖化の議論は分かっていないこともあって、怪しいところもあるから、それはあまり気にしないでもっといろいろ考えましよう。そういう話をする人がいます。全体的な傾向では、これくらいの期間、上がらないように見えるところはほかにもあるので、これは偶然の変動の範囲内であるといえます。ここからさらに下がってくると、あれ、おかしいな、現在の気候学者の知識と矛盾することが起きてきたなと思うのですが、まだそういう範囲は出ていないということです。

緑で描いてあるのがコンピューターで理論的にシミュレーションした温度変化です。将来に関してある仮定をして、大気中の二酸化炭素が増えていくと思ったときのシミュレーション結果ですが、たくさん計算した平均をとると赤い線のようにこうなります。これに比べて最近の傾向は少し下をいっていますが、たくさん計算した全部を重ねてガチャガチャと書くとこうなります。つまり、このくらいの範囲の分らなさがあるなかで、現在はあまり上がっていないといっても、それくらいにおさまっているというわけです。

先がどうなるかは、現在の温暖化の科学が間違っている可能性もゼロではありませんから、誰にもはっきりとは分かりません。ただ、現在の我々の科学が正しいとすれば、そのうち、この赤い線に絡みつくように戻っていきます。いつかはまだ分かりませんが。

そうすると、ここからこの上に行く過程では、いつか、大きな温暖化の傾向が出る可能性があります。つまり、こういう長期的な傾向に今はこういう自然の変動が重なっているわけですが、こういう長期的な傾向にこういう自然の変動が重なると、こう行くわけです。別に楽しみにして待っているわけではありませんが(笑)、嫌なんです、もしかしたら、そのうちそうなるかもしれないと思って見ていただきたいと思います。

会場：観測データでの変動幅がここには出ていま

せんが。

江守さん：観測データの変動幅というのは、この黒い線そのものです。

会場：平均ですよ？

江守さん：平均というのは世界全体の平均です。空間的に平均して、1年間を通じても平均したものの、年ごとの値をプロットしてあるんです。

会場：平均をとる観測ポイントはたくさんあると思いますが、そのデータはないのですか？

江守さん：いろいろな点のデータをグチャグチャッと書くと、もちろんこうやって幅は広がりますが、シミュレーションがグチャグチャッとなっていて幅というのはそういう意味ではなくて、これは説明しないとイケないと思います。

年ごとの気候の変動は「カオス」といいます。これは日々の天気予報も一緒ですが、1週間以上先の天気を予報するのはすごく難しい、2週間以上先だとほとんど不可能です。これは、天気予報が未熟だからではなく原理的に不可能なんです。

カオスというのは、あるシステムがもっている性質です。非常にシンプルな方程式からそういう性質をつくることのできるのですが、初期値にちょっとした違いがあると、時間がたつにつれてそれが広がって、最終的には似ても似つかない答えになります。方程式系でもなんでもいいですが、ある種のシステムはそういう性質をもっています。そして、気候の変動や気象の変動もそういう性質をもっています。

コンピューターのシミュレーションは、いろいろな初期条件から始めると、ある年にエルニーニョが起きて別の年にラニーニャが起きるといったパターンが、計算するたびに別の年に起きるようになります。これがカオスということです。この年に上がってこの年に下がるというパターンは決して再現されません。条件を変えて計算し直すたびに、この年に上がるシミュレーションもあれば、別の年に上がるシミュレーションもある、この年は下がるシミュレーションもあるということにな

ります。その結果、この計算がグチャグチャして幅ができるということです。

会場：定量的には難しいかもしれませんが、どのくらい外れると「赤の線から外れた」と見なされるのか、目安があれば。

江守さん：統計学的な分析を行えば、「何パーセント有意ならどこ」ときちんとお答えできますが、感覚的には、この緑の幅から外れだすとちょっと心配になってくるという感じです。

会場：これは全世界というか、世界平均じゃないですか。

江守さん：世界平均ですね。

会場：傾向がよく分からないのですが、4℃とか何度とかいうときに、たとえば赤道のあたりはあまり上がってなくて、北とか南とか端のほうでドーンと上がっていて、それを平均して4℃なのか、全般的に4℃上がっているのか。感覚でいいのですが、そのへんを教えてください。

江守さん：この先、温暖化が進んでいくとどうなるかは後でお見せします。たぶん、それを見ていただければすごく分かると思いますが、過去の傾向からいっても、温度は緯度の高いところで上がりやすいというデータがあります。

会場：シミュレーションのモデルが正しいのかどうか。さっきの本にもありましたが、「正しいの？」ってクエスチョンマークですね。

いま使っておられるモデルは、過去については検証ができますから、過去の検証により近いものを使って未来を予測する方法なのか。でもカオスのことを考えると、それはあまり意味のないことなのかもしれません。モデルのつくり方、選択の仕方をご説明いただけますか？

江守さん：大変鋭いご質問で（笑）。

僕が数年前に書いた『地球温暖化の予測は「正しい」か？』は、タイトルにクエスチョンマークがありますが、その答えが本のどこかに書いてあ

るんです。そこを短く抜き出しますと、「地球温暖化の予測は完璧ではない、かといってインチキでもない」(笑)。それが答えでありまして、エネルギーや運動量の保存といった、基本的な物理法則に基づいてシミュレーションモデルはできていて、そこは正しいつもりですが、難しいのは細かいところなんです。どういう条件のときにどういう雲ができるかとか、そういうところに関しては、現在の科学的な知識あるいはコンピューターの能力では、完全に正確だと自信をもてるシミュレーションはできないので近似が入っています。それによって答えが変わってきてしまいます。

しかし、ご質問のように、モデルにはいいものと悪いものがあるはずですから、いいモデルを選んで予測の幅を狭めることはできないかという発想になります。我々も、我々の業界の専門家もそのように考えています。

考えてはいますが、これはなかなか難しい問題です。たとえば、過去に関しては20世紀の上昇傾向。この傾向が観測と合っているモデルを選んで、外れているモデルはのけて予測を信用しようと思うのはひとつのやり方ですが、我々はモデルを開発するときに答えを知っていますから、それに合うようにつくっているかもしれません。多かれ少なかれそういう部分はありますし、そうするとストレステストにはなりません。

原発(事故問題)で「ストレステスト」という言い方がはやっていますが、より過酷な条件で合っているかどうかを検証しようと思うと、あまり参考になりません。

何万年前の氷期の古気候を再現して、観測的な証拠とつじつまが合っているかどうかとか、1991年にフィリピンでピナツボ火山が噴火しましたが、そのときの応答の現象の再現がいいとか、いろいろなテストを考えてモデルの評価をしています。そのとき、モデルの何が正しいければ予測が正しいのか、それも考えなくてはなりません。モデルはたくさんありますので、モデル(同士)の相関を統計的に分析することで、何が検証できると、将来予測の何が信用できることになるのか。最近、そういう分析がはやっています。

そういう方向で考えてはいますが、それで、いいモデルはどれかという答えが見つかったかとい

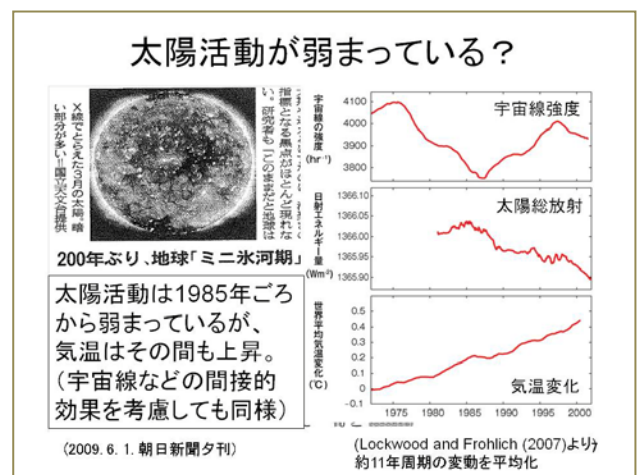
うと、まだそうなってはいません。それをやるだけでも相当大変だというのが現実です。よろしいでしょうか。

かなり複雑な説明にならざるを得ないですけど(笑)、質問のレベルが高いのでご容赦いただきたいと思います。

先に進めさせていただきます。皆さんの質問で非常に多かった太陽の話です。太陽活動は、ご存じの方もおられると思いますが、11年前後の周期で活発になったり不活発になったりを繰り返しています。それは何を見れば分かるかというと、太陽の黒点の数です。黒点が多いのは活動が活発なとき、少ないのは活動が不活発なときです。

その不活発なときというのは、黒点がゼロまで、消えるくらいまでになります。それからまた出てきて、また消えるまでがだいたい11年です。

この2009年というのは、黒点がなくなったあと、そろそろ出てきてもいいのに出てこない、まだ出てこないというのが続いた頃です。どうやら、今回の周期の太陽は不活発そうだということになりました。太陽活動が不活発になると地球に入ってくるエネルギーが減りますし、ほかにも間接的な影響がいろいろあって、地球を冷やすのではないかということです。このときも、記事は持ってきていませんが、「ミニ氷河期の可能性」ということが書いてありました。(図6)



【図6】

このあと黒点は出てきました。出てきたので次のサイクルは始まっていたのですが、人工衛星で太陽の磁場を観測したら、それまでになかったパタ

ーンが見られました。300年前、「マウンダー極小期」という、太陽活動が不活発な時期が何十年も続きましたが、そういった時期と似たことが始まるようとしているのかもしれないという発表が、国立天文台やJAXAなどからありました。

300年前、太陽が不活発だったときは、どうも地球は寒かったらしい。これがまた来るのではないか。これは温暖化ではなく寒冷化ではないかといった話が、いま出てきています。

これを僕がどう理解しているかという、これは少し古い、磁場うんぬんという話が出てくる前ですが、ある論文によれば、グラフがいろいろ書いてありますが、横軸は時間で1970年から2000年くらいまでです。真ん中は太陽から来るエネルギーの量です。本当は11年の周期がありますが、それをならして長期的な傾向だけ見えています。

長期的な傾向で見ると、最近では太陽から来るエネルギーが確かに低いですが、急に低くなったわけではなく、1985年くらい、2つ前くらいのピークから下がり始めていることが分かります。一方、その間に地球の気温は上がっています。

ですから、最近、起きていて程度の太陽活動の弱まり方では、温暖化を打ち消したり寒冷化をもたらしたりするほどではないというのが、僕の知る過去20年くらいの傾向だといえます。

この話を複雑にしているのは、太陽から来るエネルギーの量だけでなく、先ほど磁場がうんぬんと言いましたが、太陽活動というのは間接的に地球の気候に影響を与えているのではないかという疑問です。

それはそのとおりですが、そのなかでまだ分かっていない説があります。人気があるのが「宇宙線」です。「Spaceship」ではなく「Cosmic ray」、宇宙から来る光線、高エネルギーの粒子のことです。よく知りませんが、太陽系外からそういうものが飛んできているらしいです。太陽活動が活発だと、太陽系外から入ってくるエネルギー粒子を太陽の磁場が吹き飛ばしてくれるので、地球にあまり降りそそがない。太陽が弱いとそれがたくさん地球に降ってくるようになります。

このグラフはそれを表しています。太陽が弱くなると宇宙線が地球でたくさん観測されます。ここはちょっとよく知りませんが、そういう傾向があります。

ここまではよく分かっていることですが、よく分かっていないのは、では、この宇宙線が増えると、地球の気候はどう変わるかという点です。ある説によれば、宇宙線が増えると雲を作り、その雲が地球を冷やすと。

太陽活動が弱まると、エネルギーが減るというより、磁場が弱くなって宇宙線の量が増えることで雲が増えて気温が下がる。こういう学説があります。専門的にはかんかんがくがくやっていて、この論文もその反論の形で書かれたもののひとつです。「だけど、宇宙線が増えているときに気温は上がっているのではないかと。別のデータの取り方をすると、宇宙線が増えているときに気温が下がっているように見える、みたいなグラフを作ってくる人もいて、ちょっとした論争状態になっています。

大方の気候学者は、このことを考慮しても、現在、起きていて程度の太陽活動の弱まりが大きな寒冷化をもたらしたりはしないだろうと思っています。

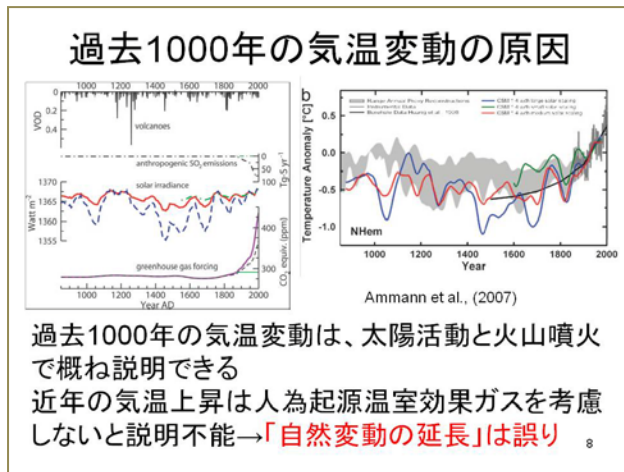
これは過去20年くらいの話ですが、では300年前はどうだったのか。太陽の磁場が見たこともない形になっていって、テムズ川が凍ったような、すごく寒かったらしいときの再来があるとしたら、温暖化を打ち消して寒冷化するのではないかと。それに対する答えも、温暖化の研究者たちは論じています。

グラフが複雑なので全部は説明しませんが、先ほど、理論的・物理的なモデルの計算で、過去100年の気温を再現して観測と合うかどうかという話をしましたが、同じことを過去1000年について計算しています。

過去1000年の、まず気温はどうかというと、温度計のデータがありませんから、木の年輪や海底堆積物など、温度の指標になるような間接的なデータを取ってきました。それによって推定して出てきた気温の変動がグレーの幅で書いてあります。(図7)

これは西暦1000年から2000年で、グレーの幅が、いろいろなデータから間接的に推定された、過去の北半球を平均するような気温変動の推定幅です。赤、青、緑で書いてあるのがシミュレーションの結果です。合うのも合わないのも書いてあるのは、太陽活動が気候にどのくらい影響を及ぼ

すかに関して、いくつかのパターンで考えてみたということです。



【図7】

もしかしたら分からないことがあるかもしれないので、いろいろな場合を振ってみたいということですが、「すごく影響を与える」と考えると青い線になって、むしろ過去の推定に合いません。「ほどほどに影響を与える」と考えると赤い線になって、まあまあ合います。緑はもう少し（影響を）与えない場合です。

このときは太陽活動と火山の噴火のデータを入れてあります。

火山の噴火も、間接的な記録から灰が何年に降ったらしいなどということから推定したものです。それで、過去の火山の噴火と太陽活動の推定を入れてシミュレーションすると、過去の変動幅とそこそこ合うものが出てきます。そのとき、太陽活動が地球の温度にもものすごい影響を及ぼすと仮定してしまうと、むしろ合わなくなるということです。注目していただきたいのは、300年くらい前に太陽活動が非常に弱まったときです。いま起きている磁場の変化と似ていたのではないかといわれている、マウンダー極小期と呼ばれる期間があるのですが、その頃の気温の低下は、推定では北半球の平均で1°Cいっていません。人によっては「0.5°C」とか「1°C未満」と言っていますが、そのくらいです。

テムズ川が凍ったとか、局所的にすごく寒かった場所もあるかもしれませんが、いろいろなところのデータを集めてみると、北半球で平均すると（下がったのは）1°Cいかないくらいだったと。何

十年間、太陽活動が、黒点が全然、出ないような異常な状態になったとして、1°Cいかないくらいの冷え方だったということです。

温暖化は現在、産業革命前に比べて0.7°Cとか0.8°Cですが、放っておくと、今世紀中に2°C、3°C、4°C、世界の平均気温が上がるということなので、これと同じ程度の太陽活動の弱まりによる気温の低下が起きたとしても、温暖化を一部、打ち消すくらいだろうと僕は思っています。1°Cの温暖化を1°Cの太陽活動の弱まりによる寒冷化が打ち消したら、ちょうどゼロくらいになりますが、その先、温暖化していけばまた上がっていくわけです。

というわけで、太陽活動の低下によって、2°Cも3°Cも地球の温度が下がるようなことは起きないと、僕は思っています。

ついでにご説明すると、そうはいつでも、氷期が来るじゃないかという話があります。ご存じの方もおられると思いますが、氷期・間氷期というのはだいたい10万年周期でやってきます。これは、過去、現在、10万年、20万年、30万年と、60何万年の気温の指標です。

これは現在の間氷期です。氷期というのがあって、前の間氷期があります。氷期があって間氷期があって、氷期、間氷期、氷期、間氷期となっています。

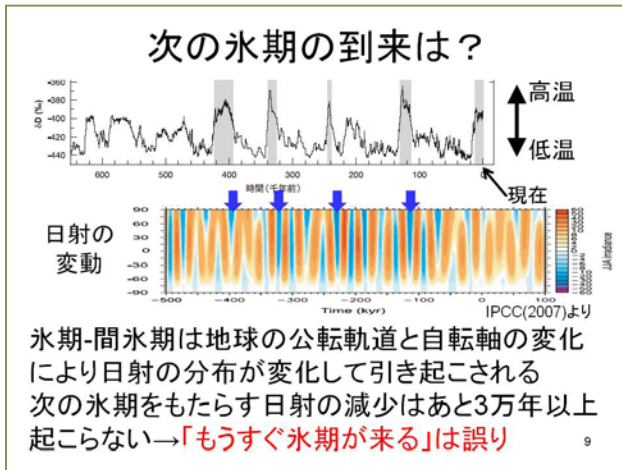
なぜこういうのが来るかというと、地球は太陽の周りを回っていますが、その軌道と軸の傾きが、天文学的な現象として何万年周期で変化します。それによって地球に入ってくる太陽からのエネルギー分布が変わり、それがきっかけとなって地球の中でいろいろなことが起きて、寒い側に振れたり暖かい側に振れたりすると現在は考えられています。

この原因は地球の軌道や軸の変化なので、天文学的な方程式で計算することができます。それを計算したものがこれです。ちょっと複雑な図ですが、横軸は時間でこれと合わせてあります。現在、10万年前、20万年前と、50万年前ですね。

（図8）

縦軸は緯度です。真ん中が赤道、上が北極、下が南極です。赤いのは、太陽の光がたくさん入ってくる、青いのはあまり入ってこないことを表しています。つまり、地球の軸と軌道の変化によっ

て、太陽の光がどのくらい入ってくるかに変化が生じるのです。



【図8】

季節は北半球の夏です。北半球の夏に、北半球の高緯度で日射があまり入ってこなくなると間氷期が終わります。また間氷期が始まって、北半球の夏に日射があまり入ってこなくなると間氷期が終わる。そういうが続いているわけです。

この「間氷期を終わらせる、北半球の夏の北半球高緯度の日射の弱まり」というのがあります。これを計算してみると、現在の間氷期を終わらせるような弱まりはなかなか来ないことが分かっています。これは IPCC の報告書にも書いてありますが、天文学的な計算によると、次の氷期をもたらす日射の減少はあと3万年以上起きないといわれています。ですから、氷期が来るから温暖化よりそっちのほうが心配だとおっしゃるのであれば、この論文を読んでから反論してくださいということになります。

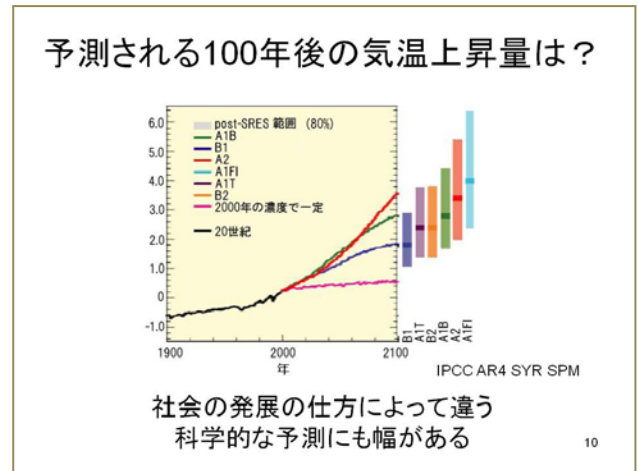
僕は古気候のことはあまり詳しくないのですが、聞かれるので自分なりに調べて対応とか、その関係のことをご説明しました。

皆さん、太陽に関するご質問がかなり多かったようですが、ここまでにしてもいかがですか？

では、時間もありませんので、温暖化の予測のお話をしたいと思います。

先ほどから言っているシミュレーションですね。過去100年、過去1000年のシミュレーションをしましたが、同じように、将来を100年シミュレーションするとどう回答になるか。当然、人間が、二酸化炭素なりほかの温室効果ガスをどの

くらい出すか、どのようなペースで出すかの仮定を変えれば、何度上がるかの答えも変わってきます。



【図9】

ここに線が何本か書いてありますが、これを我々は「シナリオ」と呼んでいます。(図9) 将来、人間がすごく二酸化炭素を出す世の中になった場合には、地球の温度は4℃くらい上がるけれども、あまり出さなかった場合には2℃くらいで済むとか、当然、どのくらい出すかによる幅があります。

もうひとつ、科学的な予測にも幅があります。これは先ほどのモデルの、どのモデルが正しいか、どうやって調べるかというご質問と関係しますが、サイエンスカフェなので単なる温暖化の啓もうトークではなく、皆さんにサイエンスのテイストも味わっていただきながら、特にこのあたりも聞いていただきたいと思います。要するに、温暖化の予測などと言っていますが、どんな精度なのさということ。どのくらいの幅で分かるのと。

右側に書いてあるこれは、それぞれが1つのシナリオに対する2100年の気温上昇量の予測の幅です。色が違うのは、CO2がどのくらい出るかの前提が違うのですが、CO2の排出が同じだと仮定しても、科学的な予測の幅、科学的な不確実さによって、推定にこのくらい幅が出てしまうということです。

先ほども言ったように、我々は気候をシミュレーションするとき、基本原理の部分は分かっているつもり、正しいつもりでいますが、細かいところはよく分からないので近似が入っています。その近似の仕方によって、過去の再現性も変わって

きますし、将来予測の答えも変わってきます。どのモデルがいちばんいいかの答えも現時点ではまだよく分かりません。いろいろなモデルで予測して、いろいろな答えを並べると、これくらいばらつきます。簡単なイメージとしてはそういう感じで、これはけっこう大きな幅です。

ここに3本書いてあるのは、サンプルでいくつかのシナリオについて書いてありますけど、棒が6本書いてあるのは、このとき IPCC で6つのシナリオについて調べたということです。いちばん上がるシナリオには「A1FI」という名前がついています。記号の説明は省略しますが、いちばん平均的な予測で2100年までに4℃上がると。運が悪いと6.4℃上がります。運が良ければ2.4℃で済みますと。2.4℃と6.4℃では相当違いますが、現在はこの程度の精度でしか予測できないということです。

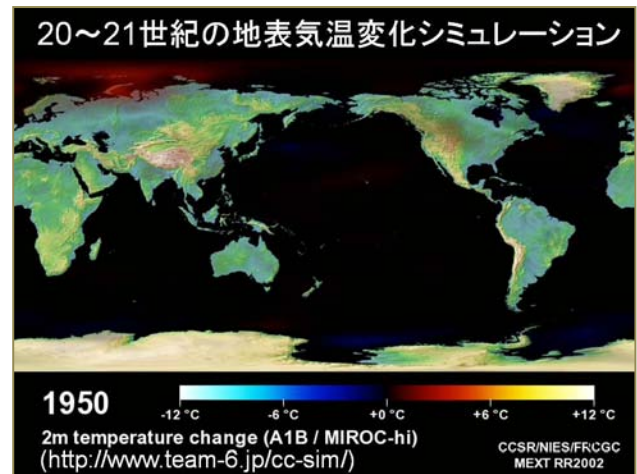
それくらい、現時点ではいろいろなことが分かっていません。もちろん、これを狭めるための努力や、モデルの良し悪しを評価する努力はしています。それは延々と続く作業になると思います。

これを見ていただきたいのですが、では、予測するとどのような答えが出てくるのか。これは我々のグループがシミュレーションした結果で、気温の変化を表しています。1950年から始まって、赤が温度が上がる色、青が温度が下がる色です。赤と青が出たり消えたりゆらゆらしているのが、先ほど言った自然の変動です。自然の変動で、年によってゆらゆらしながら現在を超えていきましたが、全体的な傾向として赤くなっていくのが地球の温暖化なわけです。

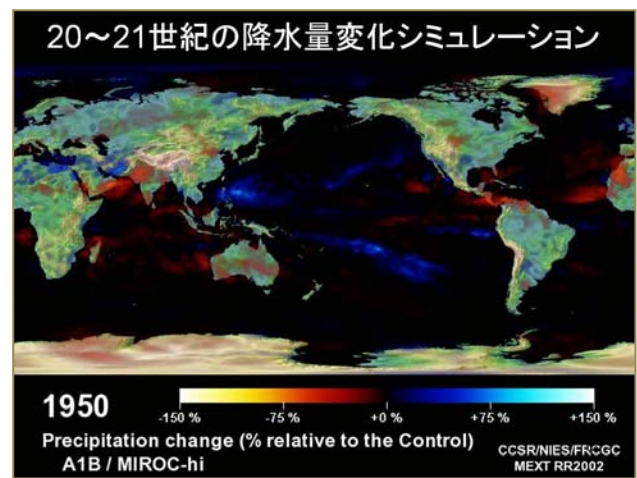
ご質問にあったように、場所によって温度の上がり方は違います。一般的に、陸のほうが海より温度は上がりやすいです。ただし緯度の高いところ、北極海は、氷が減ると非常に温度が上がります。陸上でも、沿岸より内陸、そして緯度が高く、雪があってそれがどんどん減っていくようなところは温度が上がりやすい。

それから、熱帯雨林のようなところで非常に上がっているのは、このモデルの場合、雨が減ったことで温度が上がっています。

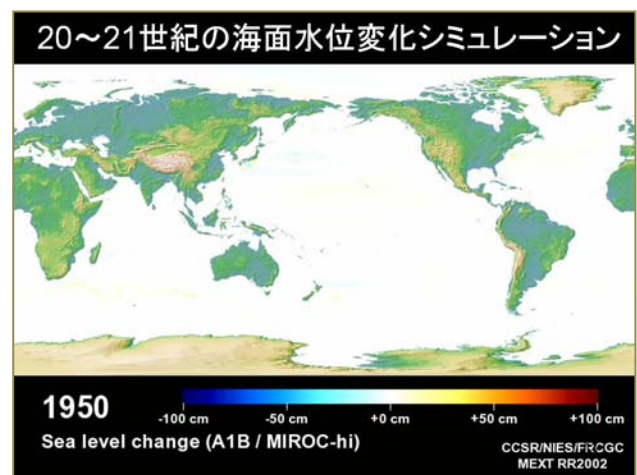
これは、人間が二酸化炭素をどんどん出していった場合のシナリオの1例ですが、世界の平均気温で4℃くらい上がるケースです。(図10)しかし、



【図10】



【図11】



【図12】

内陸では6℃とか8℃上がっていますし、北極海はもっと上がっています。しかし、海の上は比較的、上がっていません。日本は中緯度で海に囲まれていますから、温度の上がり方は比較的マイルドです。

これをどんどんご覧いただきたいと思いますが、今度は降水量です。(図 11) 雨の降り方のシミュレーションで、今度は青が雨や雪が増えるところ、赤が減るところです。これはパーセントですから、その場所でもともと降っていた量を基準として、何%上がったか・下がったかという相対的な変化を表しています。やはり青が出たり消えたり、赤が出たり消えたり、ゆらゆらしているのが分かると思います。これは自然の変動で、ある場所に注目すると、ある年は雨がたくさん降るけれども次の年は降らなかったり、またたくさん降ったりと、ゆらゆらしています。ゆらゆらしますが、ずっと見ていると、温暖化が進むと傾向として緯度の高いところは青い。(つまり)温暖化すると降水量が増える。熱帯の海上も温暖化すると雨が増えます。その間のこういうところは赤いですね。亜熱帯です。亜熱帯というのは砂漠などがあってもともと雨が降りにくいところですが、そういうところで温暖化が進むとさらに雨が降りにくくなります。

これは我々の結果ですが、ほかのグループのシミュレーションを見てもだいたいこういう感じになります。

最後、海面水位ですが、赤が海面が上がる色、青は海面が下がる色です。(図 12) 日本の南側がチロチロしているのは、黒潮の変動によって海面がデコボコしている様子です。これは温暖化してもしなくてもデコボコしています。ここは、温暖化すると南極の周りで風が強くなり、海流も速くなって、そのせいでボコボコしています。ローカルに見ると、海面というのは海流に対応してボコボコするのですが、そうこうしているうちに全体的に色がついてきたのが温暖化による海面上昇です。

ご存じかと思いますが、温暖化すると海面が上昇する原因は2つあります。1つは海水が温まって膨張することです。もう1つは氷が溶ける。海上の水ではなく陸上の氷です。それが海に流れ込むと、海の水が増えて海面が上昇します。これは、平均すると100年間で50cmくらい上昇するというシミュレーションの1例です。

では、ここまではどうですか？ このシミュレーションに関して何かありますか？

では、今日の本題に入ります。今日の本題であ

る、温暖化の影響、リスク。温暖化すると何が起きるかを述べたいと思います。

温暖化の話で、温暖化によって何が起きるかを話すときには、ものすごく氷が減っている氷河の絵を見せたり、こんなところにこんな動物がいるという絵を見せたりして、「ほら！ 皆さん、実感してないと思いますけどこんなですよ」。アル・ゴアの映画もそうでしたけど、普通はそういう話をするんですが、僕はあまりそういう話をするのは好きではありません。というのは、「たとえばこうですよ」と言ってしまうと、全体の印象がそこに引きずられてしまうんですね。

僕は、温暖化すると何が起きるかは、いろいろなことを考えなければいけないと思っています。それはあとでご説明します。ここは大変、大ざっぱな説明になりますが、なるべくいろいろなことを言います。とはいっても、この図自体はIPCCのまとめなのですが、まずこれを聞いていただきます。(図 13)



【図 13】

横軸は、地球の平均気温が1°C、2°C、3°C、4°C、5°C上昇した場合に何が起きるかということで、水に関していえば、水不足人口が何億人、何十億人と増えます。生態系では種の絶滅リスクが増え、サンゴが白化したり死滅したりし、森林火災が増えますと。

食糧は、低緯度地域と中高緯度地域に分けて書いてありますが、簡単にいうと暑いところと涼しいところ。ちょっと簡単すぎるかもしれませんが、暑いところでは温暖化が始まるとすぐに悪い影響が出始めて、収穫量が減ります。温暖化すればどんどん減っていきます。

涼しいところでは、農業には最初はプラスの影響かもしれませんが。涼しいところでは暖かくなったほうが植物にはプラスかもしれません。それから、二酸化炭素が増えます。二酸化炭素は植物の栄養ですから、その効果もあって、場所によっては農業にプラスの影響が出るのではないかと思います。

温暖化はどれくらい「怖い」？

- 温暖化は怖くない？
 - 良い影響もある(例:寒い地域で作物増産)
 - 適応すれば何とかなる?(例:栽培品目)
- 温暖化はすごく怖い？
 - 国際社会秩序の不安定化(例:環境難民)
 - 大規模な変化(例:グリーンランドの融解)
- 価値判断による？
 - 自然生態系への影響
 - 将来世代への影響

16

【図 14】

しかし、どんどん温暖化が進んで温度が上がると、植物の呼吸によって炭素を失ったり、生育期間が短くなったりします。「高温障害」といって、たとえば、イネの受粉に大事な時期に非常に温度が高くて実らなかったとかそういうことが起きますから、マイナスの影響が出ます。

沿岸域では、洪水・暴風雨、要するに異常気象ですね。風水害の被害が増え、海面上昇による悪影響が出ます。

それから健康。栄養失調、下痢、呼吸器疾患、感染症。食糧不足と関係するところもありますし、温度が上がることによってストレスが上がるような病気もあります。異常気象によってけがをしたり亡くなったりする人が増えます。

ということですが、これをどう解釈したらいいかが大きな問題だと思っています。『地球温暖化はどれくらい「怖い」か?』という、僕のグループで書いた本にも結論は書いてありますが、要約すると、「温暖化はどれくらい怖い。それをひと言でいうことはできません」というのが結論です。

いまから説明しますが、ある側面から見るとあまり怖くありません。たとえばいい影響もあります。先ほど言ったように、場所によっては温暖化したほうが農業にプラスではないか。場所によっ

てはそのとおりだと思います。それから、適応すればなんとかなる。温暖化しても、栽培品目を変えたり、時期を変えたり、品種改良したりすれば、むしろもっと採れるようになるかもしれないじゃないかと。それもたぶんそのとおりです。

こういうことだけを言えば、温暖化というのは「なんだ、それなら心配ないな」となります。実際、2007年、2008年頃によく出ていた、「温暖化しても心配しなくていい」という本を見るとこういうことだけが書いてあって、「だから温暖化は心配いりません」という話になっています。

果たしてそうかという、もちろんそれだけではありません。別の側面から見ると温暖化はすごく怖いのです。たとえば環境難民です。

仮に、日本の気候が変わったことが、日本人にとっては大したことではなかったとしても、ほかの国、たとえばもともと災害の多い、経済的にもなかなか対策がとれないような途上国で大災害が起きると難民が出るのではないか。小さい島国が沈んでしまったら難民が出るのではないか。

「国際社会秩序の不安定化」と書きましたが、そういったことを通じて、難民が増えるとか、テロが増えるとか、紛争が増えるとか、環境破壊が引き金となって世の中が物騒になることが心配であると。こういうのを「気候安全保障：Climate Security」といいますが、一部の人はこういうことを非常に心配しています。

それから、「大規模な変化」と書きましたが、たとえばグリーンランドの氷は既に減り始めていますが、それがあるところを超えると、減るのが止まらなくなるのではないかと。

現在くらいの温度で気温上昇が止まれば、グリーンランドの氷もかなりたくさん残った状態で減少が止まります。ところが、温度がどんどん上昇してある時点を超えてしまうと、スイッチが入ったように、グリーンランドの氷は全部なくなるまで溶け続ける。そういうモードに入ることが心配されています。

溶け続けると、グリーンランドの氷が全部溶けるまで海面が上がります。そのとき海面は、グリーンランドの氷の分で6~7メートル上がると考えられています。そのスイッチが入る前に温暖化を止めなければいけないのではないかと考えると、やはりこれはけっこう大変な問題です。

ほかに、ある温度を超えると地球のあるシステムが大規模に変わってしまうのではないかと。そういうことが心配されています。

2007年、2008年頃の温暖化ブームで、温暖化はこんなに怖いんだという本もいくつか出ましたが、そういう本にはこういうことだけが書いてあります(笑)。ですから温暖化というのは、伝え方によって、怖くないと説得することもできるし、すごく怖いと説得することもできるということです。

温暖化というのはどういう問題なのかを判断しようとするとき、一方を信じてしまうのはやはり違うのではないかとというのが僕の考えです。ですから、最初に紹介した本にはなるべく両方のことを、なるべく幅広く、決めつけて説明しないで、あとは皆さんで判断してくださいと。そういう意味で、「どのくらい怖いかという答えはない」と申し上げました。

もうひとつ大事なことは価値判断によるということです。同じ情報を受け取っても、人によって、「温暖化は大変深刻な問題だ」と思うかもしれませんが、「それならあまり大したことはないな」と思うかもしれません。

たとえば、自然生態系に影響がある。野生生物種の絶滅が加速するといわれたとき、人間にとってなくてはならないような生物種が絶滅するのは困るけれども、いてもいなくてもよく分からないのが、人知れず絶滅していてもいいんじゃないのと、人によっては言うかもしれません。「人間のせいになんかことになったら恐れ多いし、生態系のバランスを崩せばいつかは人間にも悪影響が来るんだから、やっぱりだめだ」という人もいるかもしれません。どのくらいそれが心配かは、やはり人によって感じ方が違うのだらうと思います。

ある意味でもっと考えなければいけないのは、将来世代への影響です。人知れずなくなる野生生物種ではなく人間です。人間だけで考えても、自分が生きているうちにそれほど深刻なことにはならないようならいいのか、子どもくらいまでは真剣に心配するのか、孫くらいまで真剣に心配するのか。それとも、会うこともないような将来世代の人類のことまで考えて、その人たちがどういう気候で生きていくことになるかは我々に責任が

あるので、これは大変な問題だと思うかどうかです。

これは人によって感じ方が違うと思います。たぶん総論賛成で、「大事ですか？ 責任ありますよね？」といったら、みんな「あります」と(笑い)。「ありますよね」と言うのですが、では、そのためにこういう対策をするのでどういうコストがかかるのか、社会をこんなに変えなければいけないという話になると、「ちょっと待ってくれ」と。その程度によって賛成したりしなかったりすると思います。

ですから、そういう意味でも答えがない問題です。僕がここで決めつけて、「倫理的にこうなので絶対こうです」みたいな言い方はしたくありません。皆さんの価値判断を含めてどうお感じになるか。普段それほど考えたことがない問題だと思いますから、ぜひこういう機会に考えていただければと思います。

実際には、皆さんがどう考えたかをすり合わせる合意形成のプロセスがあって、では、人類としてどうしていくべきかと決まるのが筋だと思います。現実にはそれは難しいことですが、自分にとって温暖化とはどのくらい深刻な問題で、だとするとこの問題にどのように関与していけばいいのかを、ぜひ考える機会にさせていただきたいと思います。

せっかくなので対策の話もしたいのですが、ここまでで何かありますか。

会場：先生のお立場からすれば、決めつけたくないというのはすごく分かります。どのくらい怖いかというのも私たちもよくする話なのですが、一般の人たちがいちばん感じるのは、先生は飛ばしちゃったんですけど、異常気象との関係ではないかと。これまで日本ではなかった(ような)竜巻が起きたとか、集中豪雨がすごく増えているなど、異常気象との関係が明確になれば、温暖化にもっと関心を持ってもらえるのではないかと思います。

ここにも、「個々のケースは温暖化のせいとはいえない」と書いてありますが、このへんの研究はいまどの程度なのかということと、一般の人たちに理解してもらうために異常気象のことを言うこと自体、先生はどうお考えなのかをうかがいたい。

江守さん：気候学者にとって、このところの異常気象は温暖化によってどのくらい変わったように見えるのかは非常に大きな関心事です。

たとえば、IPCC が少し前に特別報告書を出しています。そこには、既に極端に暑い日や大雨が増える傾向にあるという分析が書いてありますが、一般の人がそれを見て感じるのは、僕の観点では、それはある種の象徴的な印象なのではないかと思うのです。そこに書いたように、個々の異常気象が温暖化のせいかどうかは科学的には決められません。たとえば、ハリケーン・カトリーナは温暖化のせいかという、科学的な答えは分かりません。

なぜかという、気候は不規則に変動すると言いましたが、不規則的に気候が変動しているときにたまたま起きる極端な形が異常気象なのです。ですから、温暖化していなくても極端に暑い日はありますし、温暖化していてもあります。温暖化する前も強い台風は来ていましたし、温暖化しても来ます。たとえば、伊勢湾台風は 50 年ちょっと前だったじゃないか、そのときはまだ温暖化していなかったというわけです。

我々がデータを見て言えることは、異常気象の発生頻度が、長期的に見ると少し増えている。あるいは、起きたときの平均的な強さが、長期的に見ると少し増えているということなのです。

何回も言いますが、2007 年、2008 年の頃は、大雨が降るたびに、テレビのニュース番組によってはキャスターが頻繁に温暖化と結びつけて（笑）、専門家のコメントもそういうふう引用されるので困ったことがありました。

彼らもだんだん言い回しを工夫するようになってきて（笑）、「温暖化の傾向を先取りしたような大雨が降りました」とか、「温暖化と思わせるような大雨が降りました」とか、直接は言わなくなった気がしますが（笑）。

なにしろ、科学的に見るとそれは過去にも起きたことで、回数はいま確かにちょっと増えているかもしれない。そういうことが起きているのだと思います。将来さらに温暖化が進むと、もっと高い頻度で、あるいはもっと強いのが起きるよう

になる。そういう象徴的な意味で、人々は感じる事ができるのではないかと思います。

つくばに竜巻も起きましたし、これまで起きたことがないものが起きたのは温暖化のせいかもしれない、という言い方は好きではないのですが、そういう経験することで、温暖化が進むとこういうことがもっと増えますとか、一度で「あ、温暖化だ」というのは違いますが、長期的なデータを見ると実はすごく増えているというのは正しいので、ぜひ、そういうふうに言っていただきたいと思います。

会場：非常に冷静な分析をしていただいて納得できるのですが、一方で、寒冷化がどのくらい怖いかというもたぶん出てきます。

たぶんこの後の、お話の伏線というか前提にもなると思うのですが、個人的な感覚でけっこうなのですが、先生は、時計を戻したり人工気象などで気温をコントロールできるとしたら、いまより何度くらい下げたらベストだなという感覚はおもちでしょうか。

江守さん：なるほど（笑）。おもしろい質問ありがとうございます。

あまりきちんと考えたことはないのですが、おそらくあまり変えないのがベストだと思います。寒冷化が自然に起きる可能性はないと思っているので、寒冷化のリスクは特段、議論していませんが、実際に起きたら大変な悪影響があると思います。

おそらくですが、我々の社会は現在の気候に適応していて、気候がどちら側が変わっても、新しい気候に適応するコストはそれなりにかかります。そして、適応するまでは被害を受けることになるのではないかと。そして、さらに行ってしまうと適応不可能になるのではないかと思います。

ただ、温度が下がることで、たとえばバン格拉デシュで大雨が減ったらそのほうがいいじゃないとか、温度が上がって、非常に乾燥した地帯に雨がたくさん降るようになれば、そこで農業ができるようになっていいじゃないかと。

そういう、ここがいちばんグローバルな、経済的に換算したときのマキシマムだね、みたいなところはもしかしたらあるかもしれませんが、もう

ひとつの問題は、温度が上がるにしても下がるにしても、場所や地域によって、得をするところと損をするところがおそらく出てきます。それがこの問題の難しいところです。

温暖化は、ロシアとか、地域によっては歓迎するところもあるかもしれませんが。しかし、地域によっては非常に大きなダメージを受けます。

では、大きなダメージを受ける人たちにはご愁傷様とって、自分たちはいいと言っているのか。そういった問題も出てくると思います。そういう意味で、変えないのがいちばん公平だという考え方になるような気がします。

会場：次のシミュレーションのところで、南氷洋の海流が早くなるというのでしたっけ。それに関連して海洋循環が鈍くなるという話を聞いたことがあります。そうするとその分が海洋じゃなくて、大気の方の熱交換が激しくなって異常気象になるといったことがあるのかどうか。

江守さん：はい。これ、ちゃんと説明できるかな。

南極の周りの海流が速くなるのは南極の周りで風が強くなるからなのですが、それはなぜ起きるかということ、あまりはっきり理解していないので調べておきます。「たぶんこうだ」と言って間違っているといけないのでやめておきます。

(講演後追記：温暖化が進むと南極の周りで風が強くなるのは、対流圏上部で低緯度側が高緯度側よりも気温上昇が大きいことにより、ジェット気流が強くなるのが原因とってよいと思います。)

温暖化すると海洋循環が弱くなるという話があります。それはいま言った、南極の周りの風がうんぬんというのは別の話で、海の流れをドライブしている力は大きく分けて2つあると考えられています。1つは表面の風で、もう1つは海水の密度です。

海の水は、塩分濃度が高くて冷たい水は重く、逆の水は軽いのです。重い水ができるそれは沈み込んで、沈み込んだものが海を回って上に戻ってくるという循環をしています。

よく、温暖化すると海洋循環が弱くなる可能性があるといわれているのは、密度の循環のほうの

ことです。密度の循環というのは、グリーンランドのあたりで冷たい、塩分濃度の高い重い水ができて、それが沈み込むと。それが下まで沈んで世界の海を回り、北大西洋を北上してきてまた沈む。2000年くらいかけて世界の海を1周するというのがよくある説明です。

これが、温暖化するとまず暖かくなります。それから、雨が増えるとか、陸に降った雨がここに流れ込んでくるとか、氷が溶けて水が来るとか。そういう理由で、十分に沈み込めなくなるくらい軽くなってしまい、ここで沈み込んでぐるっと回る循環がだんだん弱くなるという話があります。

それがどのくらい急激に起きるかにはいろいろな説があります。何年か前に「デイ・アフター・トゥモロー」という映画がありました。あれはこの話のようにも見えるし、そうではないようにも見えます。最後はスーパー低気圧みたいなのが出てきてよく分からない話になってしまうのですが(笑い)、温暖化がある程度まで進むと、グリーンランドの話のようにあるところでスイッチが入って、その循環が急に止まる可能性もあるといわれています。

現在のシミュレーションモデルでやってもそういうのは出ないのですが、それが起きると、大西洋を南から来る流れが弱くなりますからこのあたりが非常に寒冷化します。温暖化が進むと、海洋の循環が変わって寒冷化が起きるといった言い方がされるのはそのことです。

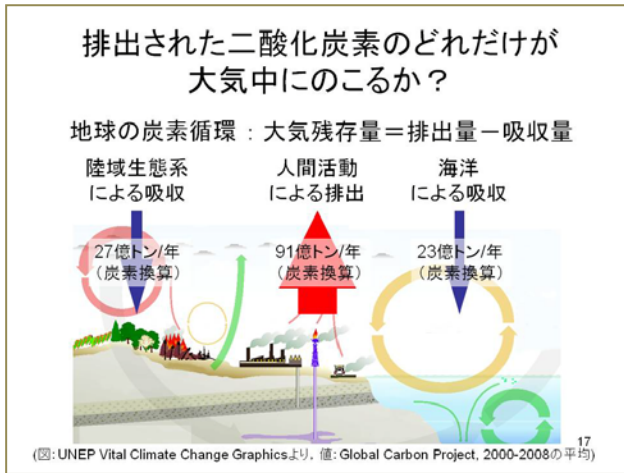
では、それで地球全体が寒冷化するかということではなく、低緯度のほうはむしろ暖かくなったり、こちら、寒冷化するといっても温暖化を打ち消す程度です。

そういう話があります。そういう分布が変われば、周りの異常気象の起こり方も変わってくるだろうとは思っています。

では、最後に対策の話をしたしたいと思います。(CO₂の)排出量をどのくらい減らせば温暖化は止まるかです。

これは、横軸は時間ですが、すごくいいかげんな軸で、1000年とか書いてあって、すごく先のことです。ここはたとえば50年くらい。現在、大気中のCO₂濃度は高くなっています。温暖化を止め

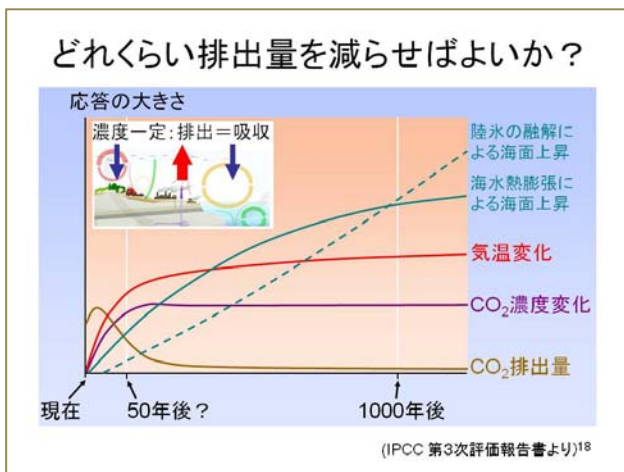
るためには、まず、大気中の CO₂ の増加を止めなければならぬのでこういうふうになりたいと思います。



【図 15】

現在、人間が出している二酸化炭素のうち、半分くらいは海や陸上の生態系に吸収されています。そして、残りが大気にとまっています。(図 15)

こういうふうに、最終的に濃度を一定にしなければならない。大気中の濃度がもう上がらないようにするためには、人間が出したものを全部、自然に吸ってもらわなければなりません。おつりがゼロにならなければいけないと思います。おつりの分だけ増えていますから、おつりがゼロになれば止まります。つまり、人間が出す量と自然の吸収量が釣り合わなくてはならないということです。



【図 16】

そのためにはどのくらい排出量を減らさなくてはならないかということです。こんなふうになり

ます。ここは現在の世界の排出量です。これが少し増えても仕方がないとして、そこから減らしていった、詳しい説明は省略しますが、最終的には世界全体で現在の排出量と比べて一けた少ないくらい。削減量でいうと8割減、9割減にしなければいけない。それが答えです。(図 16)

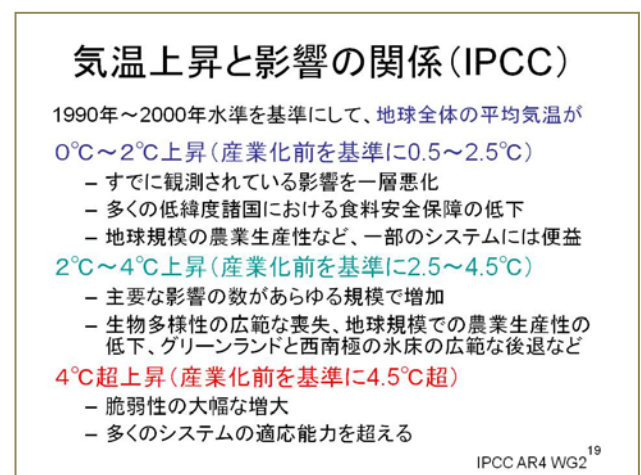
なぜ、いま倍出していて、半分ではいけないのかというと、将来、自然が吸収してくれる量が減っていきますから、それに合わせて人間が出せる量も減っていきます。

最終的には、世界全体でほとんど二酸化炭素を出さないような世の中をつくらないと、温暖化は究極的な意味では止まらないということです。

そうすると気温の上昇はだいたい止まって、海面の上昇も、止まるにはさらに時間がかかりますが、(いずれは)止まります。

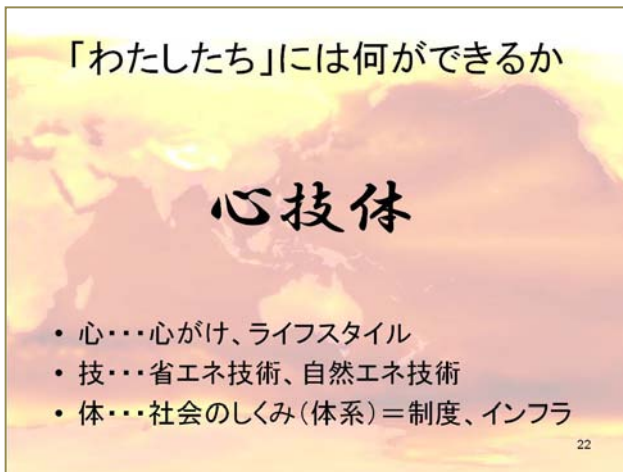
問題は、これをどこで止めるかです。人類は何度まで気温の上昇に耐えられるか。急いで止めれば低いところで止まりますし、ゆっくり止めると高いところで止まります。そこを考えなければいけません。

2℃を超えるといろいろな悪い影響が出てくるといわれていますが、ピッタリ 2℃を超えてはいけないのかは科学的には分かっていません。「だいたい 2℃くらい」というのがひとつの目安で、それをどう参考にするのか分かりませんが、現在の国際交渉等では「2℃を超えないようにすべき」という科学的見解がある」ということで政治合意が成されています。(図 17)



【図 17】

僕がいつも最後によく言うのは、「私たちは何をしなければいけませんか」と言われるので、心技体ですよと（笑）。「心」は心掛け、「技」は技術、「体」は世の中の仕組みを変えることで、これを全部やらなければいけないという話をしてお茶を濁しているのですが、3.11以降、それでは済まないような気がしています。（図 18）



【図 18】

温暖化を止めようといういろいろ考えるのですが、止めるために急激に社会を変えたり技術を変えたりすると、それはそれでいろいろなリスクがあります。日本では、原発はあまりいい対策手段ではないのではないかという話になっていますが、そういうことを考えると僕の最近の結論は、「進むもリスク、退（ひ）くもリスクである」。

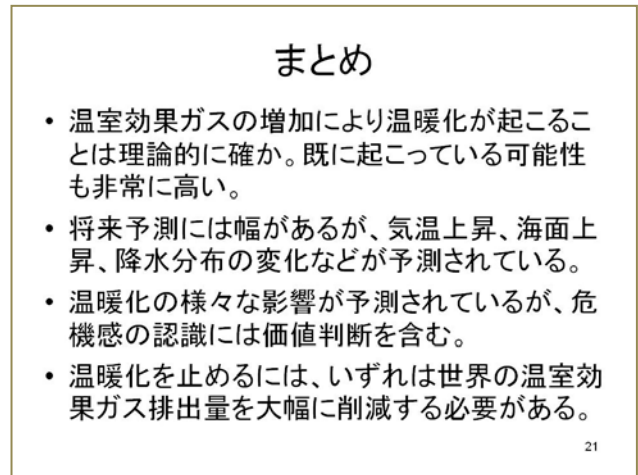
人類は既に温暖化のリスクから逃げられない。温暖化のリスクを減らすためには、なんらかの別のリスクを覚悟しなければならない。それをどう合意形成して、どの道に進んでいくかという、非常にシビアな時期に来ていると僕は認識しています。

時間が来ましたので、これ以上、説明できませんが、今日の、「温暖化はあなたにとってどのくらい深刻な問題ですか」ということと合わせて、それではどうしていくかに関して、日本の政策では、政府の「エネルギー・環境会議」というのがあります。

現在いろいろな委員会で、日本はこれからエネルギーの選択肢をどうするかの議論をしています。来月、国民的な議論があつて、8月にはその方針

を決めるといわれています。そのあたりはインターネット等でウォッチできますから、ぜひ興味を持っていただいて、これからも温暖化のことを考えていただきたいと思います。

時間が過ぎてしまつてすみません。どうもありがとうございました。



【図 19】

<質疑応答>

会場：貴重なお話をありがとうございます。

CO2を抑制することに関して先進国はけっこう熱心ですが、たとえば中国やインドからすると、これまで先進国がたくさん出してきたのだから先進国が責任をとりなさいという話になります。

現実には、これまで確かに先進国がたくさんCO2を排出してきたのですが、インドや中国がいうような、これまで出してきた人が悪いといったことへの評価は実際問題としてはどうなのか、教えていただきたいのですが。

江守さん：いま、正確なデータは持っていませんが、中国くらいになると、累積の排出量でかなりいいところに行くような、既に「うちは途上国です」というタマではありません（笑）。たぶんそれは誰もが分かっています。たぶん中国は、もうその理屈では逃れられないと思い始めているでしょう。交渉ですから、駆け引きですから、なるべくそちら側に座ろうとしているのだと思いますが、累積排出量のデータで見ても、既に新興国は責任を負う側になりつつあると思います。

一方、インド、中国でも、再生可能エネルギーの導入や、省エネ技術の導入を非常に熱心にやっている部分があると思います。彼らは、CO2を出

さない経済に移行するのなら、そのほうが得な部分もあるのでそれでもいいけれども、そのことで経済成長の頭を先進国に押さえつけられるのはごめんだと、そう言っているように見えます。僕の個人的な見解ですが、ですから、温暖化対策はしてもいいけど経済成長は阻害するなということだと思います。

会場：16ページの『地球温暖化はどれくらい「怖い』』のところで、グリーンランドの融解について触れられていますが、いわゆる雪氷圏におけるティッピングポイントの問題だと思います。

おとし12月の『ネイチャー』に、北極圏における温暖化がシロクマに多種、与える影響に関する論文が掲載されました。

表紙もシロクマの写真だったのでけっこう話題になっていたと思うのですが、そのなかでテーマが2つあって、シロクマのことと、もう1つがシミュレーションにおける研究結果で、いわゆるティッピングポイントらしきものは見当たらなかったということが書かれていました。その論文に関して、江守さんはどのような見解をお持ちでしょうか。よろしくお願いします。

江守さん：すみませんが、僕はその論文を知りません。

ただ、ティッピングポイント、要するに、ある温度を超えるとそういうふうになるかどうかは、シミュレーションによってはそうならないというのは見たことがあります。それは何かというと、温度がある程度上がると、氷が減ることで日射の反射率「アルベド」が下がって温まりやすくなります。また、氷が減ると氷の表面の高さが下がり、それによって温度が上がります。その両方があるところを超えると、系全体としてポジティブフィードバックになってしまうということです。

それが、前提の起き方、あるいはシミュレーションのパラメータによっては出ないこともあるのです。ですから、そうなるかどうかも含めて研究課題だと思います。ありがとうございます。ちょっと難しい話ですみませんでした。

会場：こういうのっていつも排出量の問題が出てきて、どう減らすかという話になりますが、吸収

量というのは、極端な話、木を何本植えればいいんだ、いや、そんなんじゃないんだよというところの感覚がよく分かりません。

たとえば僕らが、世界中で1年に1本、木を植えたらなんとかなるのか、100本植えなければだめなのか、1万本植えなければだめなのか、感覚でいいのですが。

江守さん：なるほど。ありがとうございます。

CO2でいうと、現在、世界の排出量の2割くらいは森林破壊から出ています。現実には、木を切ることで世界のCO2排出量の2割くらいが出てしまっているのです。残りは主に化石燃料です。

(講演後追記：10年前は2割で正しかったのですが、最近では1割と言った方が正しそうです。化石燃料による排出が増え続ける一方、森林破壊による排出はこのところ少し減っているため、割合が変わってきています。)

ですから、木を植えるのはいいのですが、その前に、どうやって森林破壊を止めるかを考えなければいけないということです。途上国ではもうかると違法伐採をしてしまうのです。

温暖化の交渉で議論されているのは、「REDD」という名前の仕組みです。違法伐採などをする人たちに金銭的なインセンティブを与えて、なるべく切らないようにさせる。それを温暖化対策のクレジットとして、排出削減と同じように扱おうというアイデアで、それなりに交渉上で取り上げられています。

地球温暖化のリスクを避けるには？

- 低炭素化へ向けた社会変革？
⇒ 急激な社会変革に伴うリスク
(一方で、社会構造の硬直化もリスク)
- 緩和の技術的切り札＝バイオCCS？
⇒ 食料との競合リスク、生態系破壊リスク
- 適応？
⇒ 適応便乗ばらまき開発リスク
- 気候改変？
⇒ 副作用リスク、ガバナンスリスク

23

【図 20】

簡単に言うと、世界中の森林破壊を止めれば、排出量が2割減るということですよ。それと同

じだけの植林をすることができれば、それだけ吸収できるということだと思いますが、実際には、植林というのは土地も限られます。残り8割の化石燃料の燃焼によるCO₂の排出量を相殺できるほど植林することは、おそらく不可能だろうと思います。(図20)

ただ、いろいろ組み合わせる手があります。真剣に考えられているひとつはバイオ燃料です。バイオ燃料というのは、ご存じのように、植物が光合成でCO₂を吸収して作ったバイオマスの燃料です。燃やしたときにCO₂は出ますが、それは光合成で吸収したCO₂なので、バイオ燃料を作るプロセスでCO₂が出ていなければ、ぐるっと回ってゼロであると。実際は出ているのでゼロにはなりません、そういう話です。

現在、バイオマスに限りませんが、ものを燃やして出てきたCO₂を、地中に埋める技術が真剣に検討されています。「CCS」と呼んでいます、バイオマスをたくさん栽培して、大気中のCO₂を吸わせたものを燃料として使い、そのときに出てくるCO₂を地中に埋めるのです。そうすると、バイオマス燃料を使えば使うほど、大気中のCO₂を吸うことができます。

これは、人類が本当にやるかやらないかは別として、世界の排出量をゼロに近づけていこうとするときのキーになる技術になる可能性があります。そういうことも考えながら、対策の組み合わせを考えていかなければならないと思います。

会場：いま、そこに出っていますが、「進むもリスク、退(しりぞ)くもリスク」。非常に語呂がよくてなんだか分かったような気がします。(笑)

「進む」というのはどういう方向に進むのですか？「退く」はどっちのほうに退くのですか？そこに説明がありますがちょっと分かりにくくて。進むというのはどんどん対策を進めるのか、じゃじゃんCO₂を出すほうに進むのか。

江守さん：ありがとうございます。ひとつ前のスライドで説明する時間がなかったので、謎なキーワードを出してしまってますみません(笑)。

結論から言いますと、どちらにとってもいいのですが、たとえば、「進む」を対策するほうにしましょうか。対策をして、抵抗勢力を廃して、既得

権者を打ちのめして、低炭素化に向けた社会変革をすれば温暖化が止まるのだという考え方があります。(図21)

それは正論だと思いますが、急にそれをやって産業構造を急激に変えると、失業者が出たり、少なくとも短期的には経済にダメージが出るのではないかという心配があります。本当にそうなるかは別として、そうなる可能性があるというのはリスクなのです。人によっては、そちらのリスクのほうが非常に心配だと思います。これはいわゆる「リスクトレードオフ」です。どちらのリスクに対して敏感であるかという感じ方の問題になってくると思います。

進むもリスク、退くもリスク

- 人類は既に温暖化のリスクから逃げられない
 - リスクとどううまく付き合うかという判断の段階
⇒どう判断するか？
 - 不確実性を明示的に考慮に入れる
 - 最大限利用可能な科学情報に基づく
 - 状況の変化に応じて柔軟に見直す
 - 社会の認識共有・合意形成
- ⇒民主的で透明な判断？(可能か?)

24

【図21】

別の話ですと、先ほどご説明したバイオCCSですが、これを大規模にやろうとすると、食糧と競合するとか生態系破壊になるのではないかという話もあります。そんなことまでしてCO₂排出量をゼロに近づけていくのかどうかを、我々は判断しなければいけません。そういうトレードオフを全部考えたうえで、それでもやるという決断をするのは僕は非常にいいというか、そういう種類の決断をすべきだと思います。

「進むもリスク、退(ひ)くもリスク」は、どっちに行ってもだめだと言いたいのではなく(笑い)、何かを選び取っていかなければならない。そのとき、進むことによって生じるリスクについても自覚して、議論したうえで選び取っていくべきではないかというのが、いま考えていることです。ありがとうございます。