

異常気象と地球温暖化

平成17年7月15日に開催した、JICE技術研究発表会の特別講演として、地球温暖化のシミュレーションを研究する第一人者である住 明正教授に、「異常気象と地球温暖化」についてご講演を頂きました。



講演者

東京大学 気候システム研究センター 教授
住 明正 氏

1971年東大理学部物理学卒業、73年東大大学院修士課程を終了後、気象庁東京管区気象台に入庁。調査課で2年過ごした後、予報部電子計算室に勤務。1979-1981年、ハワイ大気象学教室助手として滞在。1985年、東大理学部地球物理学教室助教授。1991年より気候システム研究センター教授。理学博士(東大)。気候予測モデルの結果を社会にいかに応用していくかについて、研究を進めている。著書に「エルニーニョと地球温暖化(2003)」オーム社、「地球温暖化の真実(1999)」ウエッジ選書、岩波講座「地球環境学」第3巻、大気環境の変化、第8章。

将来の気候変動を前提に 現実的な対応策を

地球温暖化をめぐるIPCC(気候変動に関する政府間パネル)という国際機関があり、政府関係者に限らず、世界の科学者が参加しています。その中で、我々の東京大学気候システム研究センターは、気候モデルを使い、地球温暖化に伴う将来の予測などに主として取り組んでいます。

地球温暖化の問題は、異常気象による自然災害が地球規模で多発するなか、現実的に直面する問題として考えさせられるようになってきています。こうした温暖化の問題を解決するために、例えば、石油を使うのをやめようという対応策をとることには、相当に困難な部分があります。現実的な対応策としては、将来、ある程度は気候環境が変わることを前提に、そのインパクトを緩和するような方策をとっていくことが大事なのではないでしょうか。

昨今、環境省が2001年に設置した中央環境審議会などから、いろいろな施策が出ています。確かに、都市構造を変えることによって地球温暖化への

対応を図ることは、都市問題に関する相当に大きな部分を変えることにつながるでしょう。その点では、現在、抱え込んでいる多くの問題と将来の温暖化に向けての話がつながってくるように思います。

それでは、地球温暖の現状とその問題点をこれからまとめてお話ししたいと思います。

気候変動は 特別なことではない

まず、「気象」と「気候」の違いについてお話ししましょう。一般に、気象とは日々の天気現象を指し、気候とは天気現象をある程度集めて平均したものを指します。この場合、普通は時間平均をとりますから、その期間はどれぐらいでもよいのです。いわゆる標本平均を基本としていますので、例えば、1日を1単位として標本を多く集めれば、平均した日変化になります。また、1年を単位として多く集めれば平均的な年変化になります。

また、平均して変化する状態も気候状態と言いますし、大気だけではなく、海洋の状態なども含んでいます。

一般に「平年値」といった場合には、30年間の平均的な気候状態を指します。100年でも1000年でも何年でもよいのですが、30年としているのは、「人生50年」とされた時代の名残りと思われるかもしれません。人間が成人してひと働きするぐらいの期間といえます。また、昔の人々はあまり移動もしませんでしたので、30年間という期間は、人が一定の場所で一生を貫くほどの期間と言い換えることができます。

「異常気象」の定義も30年に一度ぐらい起きる異常な気象と、30年を単位にします。それは、一生のうちに1回経験するかどうかというような、まれな現象だということです。

また、平年値は気象庁によって10年ごとに更新されています。天気予報などでよく「平年に比べて」と言いますが、「平年」自体が10年単位で変わっているのです。例えば1950年代の平年値は1921年から1950年までの過去30年間の平均です。これと、我々が現在使っている1971年から2000年までの平年値とを比較すると、温度は現在の方が高くなっていますので、気候値自体も明らかに変わっていきま

the Content of a Lecture

す。つまり、気候変動とは、特別な状態としてではなく、自然の状態として存在するものと思ってください。

それから、気候とは本質的に揺らぐもので、かっちりと決まった状態があるわけではありません。昨年と今年の気候がある程度、違うのも揺らぎの範囲内で、仕方のないことといえます。

異常気象は 自然の正常な気象

「異常気象」という言葉がしばしば使われますが、この言葉は非常にマスコミ的といえましょう。社会に被害を与えたときなどに使われ、突拍子もなく大変なことが起きているイメージを与えます。しかし実は、異常気象と呼ばれているものは正常な気象なのです。異常気象とは、自然システムの揺らぎの幅に含まれていて、まれな現象が起きたということなのです。

異常気象の定義は、先ほど述べましたように、同じ場所で30年に1回ほど起きる現象ですが、場所を変えれば、毎年どこかで起きていることとなります。昔のように情報が少なく、移動も少なく狭い範囲に住んでいれば、その人にとって確かにまれな現象として「異常」だったのです。しかし、現在はあちこちから情報が入ってくるので、異常気象が頻繁に起きていると感じてしまうのです。とはいえ、異常気象とは定義どおりの言葉として、その意味では自然の現象であると、まず認識していただきたいと思います。

ところが、地球温暖化とは何か、となると、これは明らかに人間社会が存

在するゆえに起きたと思われる気候の変化なのです。

この10年間で温暖化への 認識が広まった

今、地球は温暖化している、と言われてはいますが、それによって、例えば、誰の目にも明らかな問題が発生しているかどうかは、まだグレーゾーンです。その意味で、地球温暖化の問題は、かつての核兵器の問題と非常によく似ていると思います。核兵器の問題も温暖化の問題も、今のまま何もしないでいけば、将来問題が起きるということが問題なのです。今はそれほど明らかな問題が起きているように思えなくても、このまま問題を放置しておく、やがて手遅れになります。ですから、この問題に対処するためには、将来どうなるかを見極めて考えていくことが非常に大事です。

ただし、核兵器と温暖化の問題では大きく異なる点があります。核兵器の場合には、「戦争をやってもいい」と言う人はどこにもいなくて、まして核兵器が使われれば、とてつもなく大変なことになるという認識は、世界中の人々の中で共有されています。たとえ自分たちがまったく関係がなくても、どこかで核戦争が起きて死の灰が飛んでくれば地球全部がだめになることをほとんどの人が分かっているのです。そのため、核兵器を使わないようにしようとして世界中の人が思っています。

一方、地球温暖化の問題に関しては、まだなかなかグローバルな動きになっていません。発展途上国の場合には、

温暖化の問題よりも先に、飢餓や貧困、病気などのために人が死んでいくといった状況が目前にあり、これを何とかして欲しいという問題が優先的と主張しています。

地球の温暖化が本当に重要な問題で、最優先課題なのだと、地球上のすべての人が納得しているようにはまだなっていません。そのためにこの問題は、なかなか大きな動きになりにくくなっているのです。

ただ、最近は世界各地でいろいろな異常気象が起きていますし、昔に比べると温暖化の影響という認識が広まってきました。日本でも昨年は非常に暑い夏でした。10年ほど前の1994年にもすごい猛暑がありましたが、その当時のマスコミは、「温暖化に関連している」とはほとんど言いませんでした。ところが昨年は、マスコミも行政も政治も、「この暑さは温暖化と何か関係があるのではないか」と言っています。この10年間で世間でも、「温暖化が本当に起きているかもしれないし、それが非常に大きな影響がある」という認識が広まってきたのではないかと思います。

IPCCが世界の フレームワークに

地球の温暖化問題が政治の表舞台に出てきた背景には、1988年の東西冷戦の終わりによって、世界が新しい枠組みに入ったことが大きく影響していると思います。

冷戦時代には東西対立という非常に大きな外交的・政治的枠組みがあっ

て、その中でみんな我慢をしていました。しかし、冷戦構造が終わると、その枠組みの崩壊によって各国が勝手になりますから、それではいけないと考えたのではないのでしょうか。何らかの意味でグローバルにいろいろな国を縛っていく新たな仕組みが必要になったのでは、と思います。

その点では、温暖化の問題はグローバルですし、しかもエネルギー問題にも強くリンクしていますので、各国の行動に手を入れやすいのです。例えば、エネルギーの部分に少し規制を加えれば、経済も大きく変わってきますから、全世界をコントロールしやすいと考えたのではないかと推測しています。

一方、1988年の冷戦終結の当時には、「平和の配当」という言葉がよく使われていました。冷戦時代に費やされたものすごい額の軍事費が、冷戦構造の終結とともに余るようになってきたのです。それを「平和の配当」として環境対策などいろいろなことに使えらると、当時は何か異様なくらい熱気が世界にありました。おそらくそれが1992年のブラジルのリオデジャネイロで開かれたリオサミット（地球サミット「国連環境開発会議」）につながったと思います。

これらを踏まえて、1988年にWMO（世界気象機関）とUNEP（国連環境計画）によってIPCCが発足しました。これによって科学的な議論と政治的決断とが共存するというか、同じ枠組みに入ったと、よく言われています。かといって、お互いが本心で分かっているわけではなく、呉越同

舟のところもあります。国際的なフレームワークにはなりました。ある意味では、IPCCは権威化に成功したとも言え、例えば、アメリカも文句があってもやめようとは言わず、結局、議長や要職をとろうとしています。国連のような国際機関として、IPCCは環境問題を国際交渉の場で決めていく枠組みとしては、それなりに定着したと思います。

これが、将来どういう評価を下されるかは分かりませんが、IPCCの国際的な定着によって、政治が科学を一応は気にするようになったとも言えます。昔は科学のことをほとんど気にしなかった政治が行われていましたから、新しい時代になったと思います。

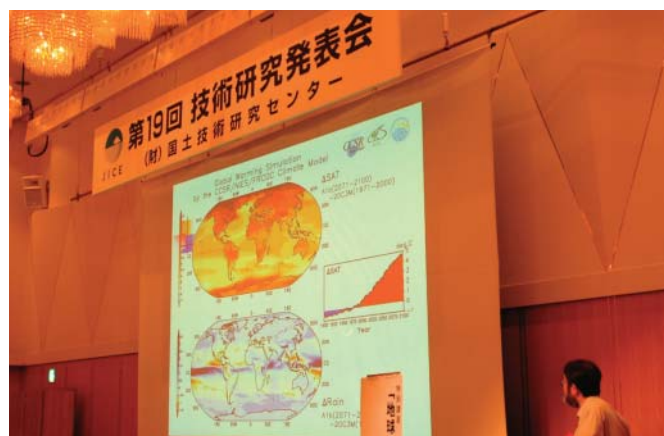
京都議定書が発効 その先の議論が必要に

環境問題への対応を国際交渉の場で決めていく構造は、1950年代からのヨーロッパにおける酸性雨問題のときに遡ることができます。この問題を解決するためにヨーロッパで新たなフレームワークができました。それは条約を結んで、汚染物質の削減を目指す議定書を国際間で交わす構造です。1979年に「長距離越境大気汚染条約」（通称ウィーン条約）を締結し、85年に硫酸化物（SO_x）の削減を定めたヘルシンキ議定書、88

年に窒素酸化物（NO_x）の削減を定めたソフィア議定書を結んでいます。

環境問題をめぐる国際交渉の中ではこの構造がよく使われていまして、成功したとされるのがオゾン層問題です。1987年採択のモントリオール議定書によってオゾンホールの原因であるフロンの排出が規制されました。また、1997年には温暖化防止京都会議（COP3：気候変動フレームワーク条約第3回締約国会議）で、二酸化炭素（CO₂）などの温室効果をもつ気体の排出を規制しようとして、京都議定書が採択されました。

モントリオール議定書の場合は技術的な対応が可能だったので、それなりにうまくいったのです。しかし、温暖化の問題はより普遍的で問題が大きいため、京都議定書をめぐって国際間でぎくしゃくしているのはご存知のとおりです。しかし、こうした枠組みはある程度確立していると思いますので、今後も、いろいろな問題の解決に向けては使用されていくと思います。例えば、生物多様性の問題にしても大体このフレームワークが参照されながらいくのは間違っていないと思います。



the Content of a Lecture



京都議定書はロシアの批准があって今年2月に発効はしたものの、いろいろな問題が残っています。今年7月にスコットランドで開催されたサミットでも議題になりましたが、温室効果気体の削減目標を達成する第1約束期間である2012年の先をどうするかといった問題が、今後大きくなってきます。それは、これからの社会をどのようにつくるかという問題にもつながっている気がします。とくに発展途上国の問題は非常に大きく、新しい枠組みをどうするかという議論が、ここ数年活発に行われるだろうと思います。

温暖化問題について 科学の知見は完全ではない

地球温暖化は、先ほど述べましたように、明らかな問題が発生しているかどうか、まだグレーゾーンです。多くの人が、科学者からの警告があるから、何とかしなければと考えているわけですが、そのもととなる科学的な知見は完全とはいえません。自然には分からないことがいっぱいありますし、まだ不確実な部分がいろいろあります。しかし、まったく分からないわけではありません。ある部分は分かっています、

ある部分は分からない、そうした科学的な知見に基づく温暖化の問題について、納得していくかどうか問われているのです。

これは人間ドックとよく似ている気がします。例えば、人間ドックの検査で出た数値をもとに、「あなた、ちょっと危ないよ」と警告されたときに、半分ぐらいの人は「思い当たるところがあるから、生活習慣を直そうか」と思います。でも残りの半分ぐらいの人は、「人間ドックだって商売でやっているのだから、信用できる数値か分からない」と考えたりします。「適当に乱数を当てているのかもしれない」と、まずデータを疑うわけです。しかし、検査を何回か繰り返してもいつも同じデータが出てくると、「このデータは正しいかもしれない、だが、必ずしも発症するわけではない」と考えます。ついに発症したりすると、「しょせん人間は死ぬのだから、いいや、好きにやって生きる」となったり、とかくいろいろと理屈をつけます。

要するに、人間は自分のやりたくないことについては、どんなに道理があっても疑ってかかり、逆に自分のやりたいことなら、どんなにいかがわしく、根拠が薄弱でも、正しいように思いこむ主観的な機能があります。ですから、しょうがないと納得し、相当の覚悟を決めないと、温暖化の問題でも具体的なアクションにはつながりません。温暖化の問題を納得してもらうためにも、現在、科学が現実の問題をどのように整理をし、知見を示しているかを示す必要があります。

地球の温度は本当に上がっているのか

科学では、他人の言ったことをすぐには信用しないというのが基本です。誰かが言うから、ほいほいとすぐ信用するのではなく、まず自分の目で確認をしてから納得することが科学的な態度です。その意味から、温暖化の問題をいろいろ違う観点から考え直してみたいと思います。

最初に、「地球は本当に暖まっているのか？」という点について、よく聞かれる質問や懐疑的な意見をあげてみましょう。

まず、その疑問の根拠として、「データがないでしょう」と以前、よく聞われました。「もっともらしくデータが出てきても、昔はグローバルな観測データはなかったわけだから、全球平均が変わると言われても、本当なのか」と疑うわけです。

次に、観測データがあるとしても、「それには、ヒートアイランドのようなローカルな効果が過剰に含まれているのではないか」という懐疑があります。観測データは測候所など一定の場所で測られています。基本的には同一地点での変化を観測するために測候所を設置していますから、勝手に観測点を動かさないようにしています。そのため、昔は人里離れた田んぼの真ん中などにあった測候所が、周辺の開発によって車が通る、住宅地ができるといった具合に、今では一等地に変わったりして、ヒートアイランドの影響も受けるようになった観測点もあります。

また、1979年から人工衛星にマイクロ波というセンサーを積んでいます。あるチャンネルを使えば大気下層の温度を直接に測定できるとして、いろいろな観測をしています。これによると、1979年以降、温度は上がっていないというデータが出てきていますので、「温暖化していないのではないか」と主張する人たちもいます。

温暖化は人間活動のせい、温暖化がなぜ悪いのか

ふたつ目に、大きな疑問としてあげられるのが、「温暖化は本当に人間活動によるものか」ということです。

地球の歴史をみれば、非常に多くの気候変動を経てきているのは明らかです。氷河期もあれば温暖期もあり、人間の活動がまったくない時代でも、地球の気候は非常にダイナミックに変わっています。太陽活動が変わっても気候は変動しますし、確かにさまざまな要因があるでしょう。そうしたことから、「それでも本当に人間が温暖化を引き起こしたと言えるのか」という疑問があります。

そして3番目に、これが一番大きいのですが、「温暖化して何が悪いのか。暑くなれば冬は楽になるし」という、温暖化を問題とすることへの疑問です。「科学者を信用して大丈夫かね」とも言われます。また、「科学者は研究費が欲しくて温暖化を問題視している、マッチポンプではないか」といった意見もあります。

昨今の環境税をめぐる話もそうなのですが、環境を問題として扱うことは、

国家権力の肥大化につながると思う人もいるのです。とくにアメリカの一部の人に強いのですが、環境対策は規制につながりますので、何かわけの分からない理屈によって個人の自由が縛られていくような思いがあるわけです。

この辺りの問題は、政治や行政が「はい、こうしましょう」と言っただけでは、なかなか人々の納得を得られないだろうと思います。いろいろ考えながら合意形成を図っていかないことには、アクションにはつながっていきません。

気候変動を示せるデータはある

温暖化についてのいろいろな疑問について、現在の科学の知見をお話ししていきましょう。

事実として、大気中のCO₂は増えています。いろいろなデータの中でも、エネルギー消費量は一番正しく分かっているデータですので、これを疑う人はほとんどいません。明らかに人間活動によって化石燃料が消費されて、それに伴って排出されるCO₂の半分ぐらいが大気中に残っているのは確かです。

それから、気象台や測候所などの観測データは、せいぜい20世紀が始まってからですが、それ以前の気候のデータは、樹木の年輪や湖沼、氷床のコア、文書などさまざまな場所に残されています。可能な限りのデータ、手法を用いて、過去の気候の再現が試みられています。これらのデータは、IPCCの報告書にも掲載されていますし、ホームページ (<http://www.ipcc.ch>)

にも掲載されていますので、ご覧いただけます。

それから、グローバルな観測データへの疑問ですが、1980年以降については人工衛星が上がるなどいろいろな進歩であって、グローバルに観測データがあります。普通の物理観測の意味でのデータがちゃんとあって、それを処理して全球に平均して、全球平均気温を求めたデータは、十分信頼出来るものです。それに、後で詳しく述べますが、現在、数値予報モデルを使って観測データの処理をする形で気候の変動などを解析しています。昔に比べれば数値予報のモデルは非常によくなっています。今では、そのよくなったモデルを使って過去のデータ解析もやり直していますので、このトレンドは絶対に正しいと言えます。

1980年からは急激な温度上昇を観測

気候モデルを使ったデータ解析の結果をみると、1980年からは非常に温度が上がっているのは確かで、我々の実感としてもけっこう暑くなっています。全球に緊密にデータがあるわけではありませんが、地上の温度計のデータはいろいろな場所で測っていますので、多少の違いはあっても、大きな傾向としては正しいのです。

20世紀を考えますと、20世紀の前半にも温度上昇がありました。アメリカの作家スタインバックが小説『怒りの葡萄』（1939年発表）に書いたように、アメリカ中西部がダストボール（大きな砂嵐）に襲われるような乾燥

the Content of a Lecture

化・温暖化した時代がありました。ところが、そのころの日本は3年続きの大冷害で、2.26事件(1936年)にも影響を及ぼした時代です。温暖化というグローバルな現象でも、一気に全地球上で温度が上がるのではなく、地域差があるわけです。戦後は氷河期が来るとよく言われていましたが、実際に1950年ころに寒冷期があり、それから温暖期があります。こういう大きな特徴は、まず間違っていないと思います。

さらに過去の歴史をみれば、日本の縄文時代は暖かく、弥生時代は寒かったのです。温度はいろいろ変動していますが、この100年で0.6度の上昇は、時間的なスケールでいけば相当急速な温度上昇だと分かります。

ただし、ヒートアイランドの効果は確かにあります。東京都心部などはグローバルな温暖化よりヒートアイランドの影響の方が大きいでしょう。しかし、それがグローバルなデータを大きく左右するというほど都市は大きくありませんので、その要因は取り除くことができます。

1979年以降には温度が上がっていないとする衛星のデータについてですが、衛星のマイクロ波を使って温度を

観測できるとするのは、リモートセンシングの手法を用います。しかし、実際にデータを得ることはなかなかそう簡単にできることではありません。膨大なアルゴリズムを使って温度を導き出していますので、「衛星側のデータの取り出しのアルゴリズムが間違っているのだろう」というのが多くの人の意見です。例えば、衛星の軌道が変わるなどの要因も指導されています。

最近、グローバルな気温も暖まってきたという事は、間違いありません。氷河が溶け出すなど具体的な例もみても、この100年間に温度が上がってきているのは間違いないことです。また、個人的な実感としても、日本も明らかに暑くなってきています。戦後は今より寒い冬でした。もちろん家の建付けが悪かったとか、いろいろな客観的な要因はあると思いますが、昭和38年の三八豪雪だとか、正月に何日も車が雪で駅に閉じ込められてとか、そんな豪雪が昔はけっこうあったと記憶していますが、最近はあまりありません。

気候モデルで 未来の姿を予測

次に、「温暖化は本当に人間活動によるものか」という点について、原因を推定してみましよう。

残念ながら、人間活動によって地球が暖まっているかを、物理的と言いますか、数学の証明のように証明することは、現在、不可能で

す。これを証明するには、このまま何も対策をとらずに人間活動を好きなように続けて、2100年にそれまでの気温がどう変化してきたかを観測するのが正しい方法と言えます。そして、「ああ、予測は合っていましたね」というのが物理的な正しい手法です。

ただし、2100年に温度が今より5度上がっていたからといって、それを下げられるのでしょうか。何か起きてから昔に戻せるかと言うと、そうはいかないのが自然の難しいところです。

気候モデルを使って、我々は地球環境がどのように変動するか、未来の姿をシミュレーションしています。気候モデルについて簡単にご説明しますと、大気や海洋など気候を成立させるものに配慮しつつ地球上の格子点に置いたいろいろな物理上の変数の変化を定式化して、計算機を使って数値積分します。モデルには大気や海洋の相互作用などいろいろな現実的なプロセスのすべてを組み込みます。例えば、海洋ですと、海に氷が張る、雨が降れば陸地の川から水が海へ流れ込む、雲もできる、そうした現実に行き起きているプロセスを物理的法則に当てはめて表現し、それをモデルに組み込んで、できるだけ仮定を減らして、えいやっと全部解いていくわけです。

今まで、研究者は持っている道具に合うように問題を設定してきました。今ある計算機で論文を書き上げることを前提に、半年ぐらいで仕事が終わるようにまず考えて、それで解けるように問題を設定し、例えば、格子間隔で粗くなることも仕方ないとして対処し



ていたところがあります。しかも、我々が取り組んでいる気候モデルの結果を得るには、非常に膨大な計算が必要であり、それを可能にする計算機が要ります。

後で詳しく述べますが、我々は昨年、この気候モデルを使ったシミュレーション結果を発表しました。すると、「どのくらい当たるのだ」とよく聞かれます。「天気予報が100%当たらないのに、どうして100年後が当たるのか」とひどいことを言う人もいます。確かに、気候モデルについては今でも分かっていない部分が多くあります。かといって、完全ではないからまったく能力がないかと言うと、そんなことはありません。では、地球シミュレータを使った我々の気候モデルについて、次に述べましょう。

地球シミュレータによる気候モデル

日本では2002年に地球シミュレータという、当時、最高レベルとされたスーパーコンピュータができました。横浜市の新杉田にあるのですが、体育館のような大きな建物に5,000台ぐらいのコンピュータを置いて、全部をネットワークケーブルで結んでいます。ケーブルの総延長は北海道から沖縄ほどあって、コンピュータ同士の通信が非常に早いのです。公称40テラのカタログスピードに対して実行36テラと、9割近い実際のスピードが出ます。パフォーマンスがよいので、我々のような流体系の計算に関しては非常に向いています。我々はこれを使って高分解能

の気候モデルを開発してきたわけです。

気候モデルの格子の細かさを解像度といい、解像度を高くするほど大規模なコンピュータが必要になるのですが、地球シミュレータの場合、解像度は大気が100kmほど、海洋が20kmほどで、海洋の解像度が細かいのが特徴です。これによって、従来の粗いモデルでは出てこなかった細かな変動が表現できるようになりました。

10年ほど前の2世代前のモデルでは、大気が500km、海が280kmの解像度でしたから、それを使ったIPCCの第1次評価報告書（1990年）、第2次評価報告書（1995年）では粗くて日本などは見えなく、グローバルなことはともかく、地域的な変化を知るには心もとなかったのです。

例えば、衛星による観測では、黒潮の変動など海に小さい渦がたくさんできるのが分かるのですが、粗いモデルではそこまでは出てきません。熱帯の雨の降り方にしても、ぱっと降るとき、休むときといったリズムが自然界にはありますが、これも細かなモデルを使わないと出てこないのです。風が陸地の地形によって変わり、それが海の渦をつくったり、さらにそれが大気に影響したりするといったことがありますので、ある程度、細かなモデルにすることが非常に大事です。

職人的な経験と勘が必要なモデルづくり

現実の気候は非常に安定していて、10年や20年ではそれほど変わりません。しかし、モデルを少しでも変につ



くると、あっという間に違う気候状態になってしまうことがあります。地球シミュレータでのモデルは相互作用をほとんど自然と同じ様に処理するため、モデルのロジックは正しく、それなりにつじつまも合っている、現実とは合わないようなことが起きたりするのは、とくに海の氷などは影響が大きく、すぐに溶けてなくなったりします。

そのため、パラメータなどのいろいろな部分を何回も何回も調節し、現実の地球と同じ平均気温で、しかも長時間稼働させても現実と同じ様にふるまうようにモデルづくりをしなければなりません。これが非常に大変です。しかも、マニュアルがあるわけではないので、ほとんど職人的な経験と勘によるノウハウが必要です。そうした実績の蓄積のある研究センターが力を発揮できるわけです。しかし、まだ我々のモデルにも、例えば赤道域の東西の海水温のコントラストが出ないとか、そういう改良の余地が少しありますので、現在、さらによくするように努力しています。

このようなモデルづくりは、手間が非常にかかる割には「なんだ、こんなものか」と言う人が多く、なかなか派

the Content of a Lecture

手な論文になったりしませんので、開発レベルを維持するのは難しいと思います。ほとんどの大学などでは、論文を早く書くために手軽な小さいモデルでやる傾向があり、こうした大きなモデルをつくりません。外国でも日本でも政府や政府系機関のようなところでないとやっていけないでしょう。

現在、我々のモデルを使うユーザーは増えています。しかし、モデルをちゃんと整備して、次のモデルをつくらうとする人は少なく、基幹部分を支える人材が若干減っていくという今の情勢は、少し憂えるべき事態ではないかと個人的には考えています。

温暖化の要因は人間活動

例えば、昔のモデルでは単純にCO₂だけを増やして計算していたのですが、実際には20世紀の気候変化にはさまざまな要因があります。そこで我々はいろいろ膨大な資料から集めたデータをつくっています。化石燃料からの二酸化硫黄(SO₂)についてはそれなりにデータがあるのですが、例えば、アジアでは料理で木を燃やしたりします。そのときに出るCO₂や煤などいろいろなものや、土地利用の変化に伴う変化など、さまざまなデータをつくってモデルに入れていきます。

しかし、こうした人間的な要因を排除して、火山の爆発や太陽活動の変化など、自然的な要因だけを使って、20世紀の気候の変動を再現しますと、20世紀前半の温度上昇と1950年以降の寒冷化は見てとれますが、1980

年以降の気温の上昇は現れませんでした。1980年以降も産業革命以前と同じ状態で、全球平均で温度が0.1度変わるぐらいの揺らぎがある程度です。つまり、20世紀の気温の変化には、自然的要因のほかにいろいろな要因があったことが明らかになりました。

それで、人間活動に伴う土地利用の変化や化石燃料の消費、エアロゾルの増加などをモデルに入れますと、1980年以降の急速に温度の上がってくる部分が相当に出てきました。

こうした結果から類推をすると、人間活動の影響による温室効果気体の増加が、地球温暖化の要因であることは、もう疑いようがないわけです。

しかし、「グローバルな平均があっても、個々のデータがばらばらだったら信用できない。」と疑う人もいます。

確かにグローバルな平均気温では、20世紀前半に温暖期に向かったわけですが、例えば、ヨーロッパの方では冷えているとか、アフリカの一部では寒いとか、そういった地域的な変化がモデルには出ています。グローバルな平均のみならず地域的な温度の変化にもモデルはよく対応していますから、我々のモデルから導き出した推定に関しては正しいと思っています。

なお、この20世紀前半の温暖期の原因についてはいろいろな要因があります。今、我々が考えているのは、19世紀の後半と20世紀の後半に火山活動が多くあって、ちょうど20世紀前半は火山活動がなかったので、それが非常に大きく効いているのではないかとということです。

地球と日本における温暖化予測

IPCCの第4次評価報告書に向けて我々の気候モデルが計算をしました温暖化予測結果をお話ししましょう。大ざっぱに言いまして、グローバルな平均気温の上昇は従来のIPCCの第3次評価報告書(2001年)とそう変わることはありません。

我々の計算によれば、20世紀はだんだん温度が上がってきていまして、将来に向けては基本的に北半球の高緯度で大きく、海上に比べ大陸で大きく暖まっています。降水量については、基本的にモンスーン地域は雨が増えます。一般に温暖化に伴って大陸内部は干ばつになると言いますが、アジアに関しては逆で、洪水災害が増えることになります。例えば、バングラディッシュのように低湿地のところでは影響が深刻になりますし、潮位の上昇が災害を拡大します。

日本の2100年までの予測計算では、基本的にある程度、初夏に南側の高気圧が強まり梅雨前線に伴って雨が増えます。オホーツク高気圧もありますので、梅雨型の降雨は続くという結果が出ています。

ただ、しとしとと降る雨が強くなるというよりは、たくさん降るところと降らないところの地域格差や、雨量強度のメリハリが出てきます。そのため、梅雨はしとしと型からアクティブな、強く降ってあと降らないとか、水飢饉と洪水が同居するみたいな形になるだろうと思います。

また、梅雨に限らず、一回の雨量は増えてきますので、どっと集中的に降る雨の強度は大きくなるでしょう。温暖化が進行しますと、降水量は年々の変動幅も、都市ごとの変動幅も今よりも大きくなってきますので、どこかでどんと降る、逆に干ばつになる、そうした変動が今後はさらに大きくなっていくのではないかと思います。

それから、去年もそうでしたが、最高気温が30度以上の真夏日が増えるのは当然のように起きます。夏の間はせいぜい40日間ほどしかありませんので、春とか11月や12月の季節はずれの時期に瞬時にぱっと暑くなります。

冬の積雪ですが、日本海側の積雪量は完全に減ります。また、雨になる場合がありますので雨量全体を考えても減少しています。

冬に積雪が少なくなることによって雪解け水が減少します。これにより、梅雨までの4月、5月のダムの貯水量がどうなるかというのは首都圏の水需給に大きく関係するため、予測をもとにして計算して効率的な対応を考える必要が出てきています。

我々の新しいモデルでは、海のモデルを非常に細かく設定しましたので、黒潮がよく再現できます。黒潮は銚子沖ぐらいから離れて太平洋にいくのですが、今までの計算結果ですと、その離れる位置は変わりません。温暖化が進み、黒潮がぐっと北に上がってきて仙台沖ぐらいにまで来ると、それだけで地域的な海況がかなり変わりますが、流れの場としてはそう変わらない

でしょう。

ただ、全体として海面水温は上がるとか、黒潮の流れは強くなるとかという変化が出てきます。対馬海峡の暖流はそう増えないとか、親潮の寒流はどうかとか、そうした変化による産業などへの影響を具体的に考えるのは、非常に大事なことです。我々のモデルで得られた結果をこれから使いながら、さらにどういう影響があるかということに今後も取り組んでいきたいと思っています。

最近の異常気象は温暖化の影響か

最近の異常気象は地球温暖化の影響かどうか、明らかにして欲しいと求められることがあります。とにかく温暖化の影響が出ていると言ってくると、対策も早く進められるからと言われることもあります。

しかし、大学で教えられてきた価値観に従うと、今、科学的に現在の異常気象が温暖化の影響を受けていると証明できるかと問われれば、証明できてはいないというのが正しい答えです。断言はしていません。

先ほど述べましたように、気候には固有の揺らぎがあって、今の異常気象すべてが温暖化の影響によって引き起こされているわけではないと思っています。しかし、温暖化の様相を思い浮かばせるよう

な変化をしているのは確かです。そのため、最近の異常気象をきっかけとして、温暖化したときの様相を思い浮かべることが可能ですし、それは非常によいことです。

先ほど真夏日についてお話したように、去年もそうでしたが、夏に暑い日が続くだけでなく、春や冬から毎年暑い日が続くようになります。いつも暑くなるわけではなくて、暑い日がどんどん増える形で温暖化が起きるだろうと思います。

個人的意見なのですが、未来の人が過去を振り返る形で現在を見ると、温暖化の影響があったとするかもしれません。例えば、2100年ぐらいになって、我々の何世代か後の研究者が振り返って、このころから温暖化があったということになるだろうとは思いますが、それは今の時点ではまだ科学的に言える状況ではないと思います。

温暖化によるさまざまな問題

温暖化によっていろいろな影響があり得ると思いますが、さまざまなファ



the Content of a Lecture

クターがあってなかなか確たることは言えません。しかし、気象学や気候システムの物理的な側から、まず間違いないとされているのは、海面上昇です。これは明らかに温度上昇による影響ですが、もし対策がうまくいって大気中のCO₂などの温室効果気体の濃度が安定化したとしても、海面の上昇はずっと続きます。恐らく500年ぐらい続くだろうと言われていています。

降水量については先ほど述べましたように雨量全体は増えるのですが、分布は変わる可能性があります。それから、非常に局所的には雨量強度は増えると思います。そうすると、例えば、設計基準が1時間雨量50ミリだった排水施設では、雨が70ミリも80ミリも降れば、水があふれます。その対策をどうするかは今後の課題です。既存のインフラが合わなくなることで災害が発生し、社会が感じる異常気象は増加する結果となります。

それから、もし1年でダムがつくれるのなら、新しい気候帯に合わせて、水が足らなくなったからこっちにつくろうというのができて簡単なのですが、実際にはダムをつくるのは30年で早い方だと聞きました。そうすると、30年後にどうなるかを考え、今ある程度のアクションをとらないと対応が間に合わないことになります。雨量全体は増えても、地域格差が大きいので、人口の多い都市の水がめとなる場所がどうなるかは、真剣に考えなければなりません。とくに、総人口が減っても首都圏の人口は減らなそうなので、よく考えておく必要があります。

社会基盤は、現存する気候を前提に、長期にわたる資本投下のもとに構築されてきました。しかし、温暖化によって前提としていた自然のシステムが変化してしまえば、大きな影響を受けることとなります。

また、現在の日本の食料自給率はカロリーベースで40%と、輸入への依存度が高いため、グローバルな気候の変化は明らかに日本にも影響します。食料への影響のみならず、日本はグローバルなことを意識しながら考えていかざるをえないと思っています。

サステナブルな社会づくりに向けて

昔は、軍事力が国家の力を示すものでした。しかし、21世紀は科学や文化の力が国家の力を示すものです。日本としては科学が文化の力をグローバルに展開することが大事になっています。今日は主として温暖化について話をしましたが、実は温暖化の問題だけではなくて、例えば、廃棄物の問題にしても、資源の問題にしても、どんな側面からでも好き勝手にやっていたらだめだというのは確かです。言い換えれば、21世紀の世界を安定的に発展させていくには、新しい秩序、新しいフレームワークを準備するしか道がないように思います。その意味で、循環型社会、サステナブルな社会をつかっていくのは必須なことなのです。

しかも、日本は一応先進国と言われていますので、エネルギーを使わないようにする余地はあります。しかし、

発展途上国に目を向けますと、現在でもエネルギーにアクセスできない人は相当いるのです。そういう人たちに対し「エネルギーを使うな。」とは絶対に言えません。世界中のいろいろなところで生きている人に対して、最低限のエネルギーにアクセスできるようにすることは必要なことなのです。

そのためには、発展途上国にエネルギーを供給しなければなりません。しかし、発展途上国はインフラが非常に弱いですから、電線を張りめぐらせて電力を供給するなんてことはほとんどできません。例えば、太陽電池を配るなど、新しいアイデアを出して、エネルギー効率を上げながら、しかも発展途上国の人の生活も変えつつ、先進国の消費を抑えて新しい社会をつくるのが非常に大事です。

日本には、今までのさまざまな蓄積も、科学技術などもありますので、新しい社会づくりに向けてグローバルに発信をしていくことが非常に大事なことになると思います。

