

第7回 環境サイエンスカフェ

テーマ 「異常気象と気候変動」 ～大雨・干ばつ・台風・ハリケーン・観測事実と予測～
 講師 釜堀弘隆さん（気象研究所 気候研究部 気候5研究室長）
 日時 2012年2月22日（水）18：30～20：00
 会場 サロン・ド・富山房 Folio
 参加者 30名



1.はじめに

釜堀先生：皆さん、こんばんは。気象研究所の釜堀先生：と申します。

最初に、IPCC について若干の説明をいたします。IPCC は皆さんもよく名前を聞いていらっしゃると思いますが、「気候変動に関する政府間パネル」のことで、第一、第二、第三という3つの作業部会からできています。第一部会は、サイエンスとして現在どうなっているかという現状把握、そして今後どうなるかという予測を議論しています。第二部会は、われわれはどうそれに適応すれば良いのかという適応策。第三部会が緩和策、つまり影響を緩和するにはどうしたらいいかという議論をしています。私が関係しておりますのは、第一作業部会で、サイエンスとして、これまでどうなってきた、これからどうなるという議論をしております。

IPCC の報告書は 1,000 ページを超えるような非常に分厚いもので、英語、フランス語、スペイン語、ロシア語、アラビア語、中国語の6カ国語で書かれていますが、残念ながら日本語は国連の公用語になっていませんので、IPCC の正式な文書には日本語版はありません。本日お配りした冊子「気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第四次評価報告書 ー政策決定者向け要約ー」は、SPM と呼ばれていて、「Summary for

Policymakers」、つまり政治家向けの簡単な要約です。一般の人、サイエンスに詳しくない方でも、大体分かるように書かれています。この冊子は英語版 SPM を使って、気象庁と環境省と経済産業省が和訳したものです。

IPCC 報告書最新版は、第4次報告書で2007年に出ました。この報告書は、最近では6年おきに出ることになっていますので、次は2013年、来年出る予定になっています。その和訳が、多分その半年後ぐらい、2年後の今ごろ出ると思います。楽しみにしてください。

今日のプレゼンの中身は、この要約からある程度図を引用していますが、中にはこの要約には出てこないものもあります。この要約では物足りない方がいらっしゃいましたら、IPCC のホームページを見ていただきたいと思います。お手元に配られています、プレゼン資料の印刷版の一番最後のページに、スイスに本部がある IPCC ホームページの URL を載せました。ここに、全ての資料が置いてあります。ただし、これはさっき言いました6カ国語で書かれていて、日本語版はありません。2番目に載せたのが第一作業部会の報告書を気象庁が訳した和訳で、気象庁のホームページに置いてありますので、興味がありましたら見ていただけたらと思います。

2. 「異常気象」とは？

では、本題に入りたいと思います。「異常気象と気候変動」というタイトルでお話ししたいと思います。

異常気象といいますと、英語で何と言うんだろう。異常という言葉を使うと、**abnormal** という単語が思い浮かびますが、**abnormal** はこの場合には適当ではなく、**extreme** と呼ばれています。つまり、極端な気象現象です。どのくらい極端かといいますと、大体 30 年に 1 回ぐらい、つまり人間が活着しているうちに 1 回か 2 回ぐらい経験する程度の頻度の現象です。そういえば、以前もこんなことあったな、昔自分が小さいころあったなと思うくらいの現象を、「異常気象/extreme weather」と呼ぶことになっています。

具体的にどういうことかといいますと、これは統計の話ですが、ある現象の出現確率がガウス分布しているとします。正規分布ですね。そうしますと、標準偏差の 1.83 倍以上の現象が起こる確率は、30 分の 1 です。逆に言いますと、30 分の 1 の確率で起きる現象がどのくらい平均値から離れたものかと計算すると、標準偏差の 1.83 倍なんです。ですから、この標準偏差の 1.83 倍より極端な現象は、「**extreme weather/異常気象**」と呼ぶことができます。

ただし、全ての現象がガウス分布しているわけではありません。例えば、気温の分布はかなりガウス分布に近いです。ですから、猛暑とか冷夏、それから今年みたいな非常に寒い冬なんていうのは、大体ガウス分布で考えていいのですが、雨は全然ガウス分布になっていません。従って、雨に対してはこういう標準偏差の議論というのはできませんが、大体概念的には同様に考えることができます。

異常気象を統計的に考える際に問題になるのは、気候変動によってベースの気候が変わることです。年代によって異常気象の範囲、つまり定義が違ってきます。例えば気温で言うと、何度以下だったら異常気象という値が違ってきます。そこがなかなか複雑なところで、50 年前だったら普通だったのに、今は異常気象ということも十分ありうる話です。

会場：30 年というのは、国際的に全世界共通なん

ですか。30 年というのは日本だけの基準なのか、あるいは国際的にみんなこれで決まっているのか、その辺を教えてください。

釜堀先生：実は、明確な基準というのはありません。しかし、曖昧ながらも、国際的にも大体 30 年が使われています。国連の下に、世界気象機関という組織があります。そこでも、やはり 30 年を使っています。ただ、30 年に 1 回を異常気象と定義するとは明確には書かれていません。でも、曖昧ながら、大体の合意はできていると思っています。

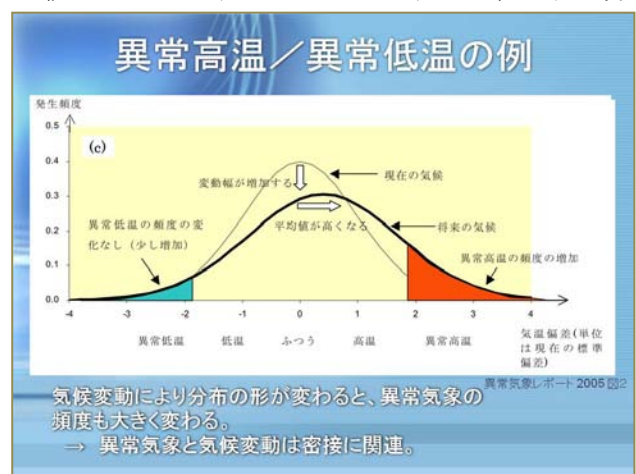
会場：30 年は、10 年の 3 つ分ですか？平均気温というのは 10 年平均だったと思いましたが。

釜堀先生：平年気温は 30 年間の平均です。現在の平年値は、1981 年から 2010 年までの 30 年平均が使われていて、30 年に 1 度の異常気象には、その平年値の統計期間に 1 回ぐらいの頻度で起こるという意味もあります。

会場：10 年更新ですか？

釜堀先生：そうです。10 年ごとに更新しています。

気温の例で言いましたが、その気温の例を図にすると、こんな感じです(図 1)。ある平均値の周りに、気温はほぼガウス分布しています。ですから、この標準偏差の 1.83 倍より高いところは異常高温だし、1.83 倍より低いところは異常低温ということになります。ですが、温暖化に伴って、平均値がだんだんずれてきていますから、ガウス分

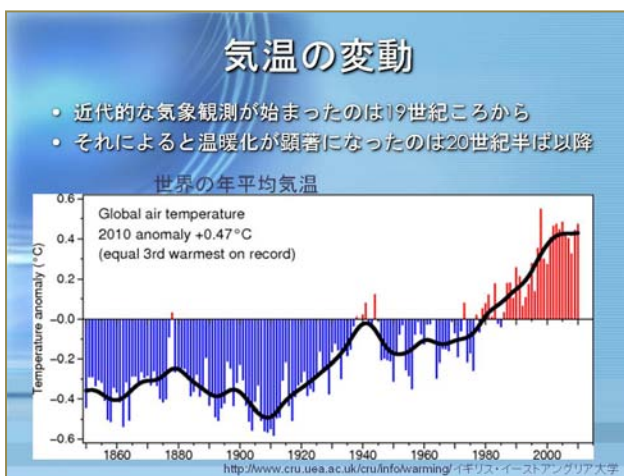


(図 1)

布も高温側にずれることとなります。ちょっと温暖化すると、昔の平年値から標準偏差 1.83 倍高い気温の頻度は大幅に増えてしまって、そういえば最近異常高温が増えたなと思うのは、実は温暖化が進んでいるからなのです。逆に、最近異常低温が減ってきたなというのは、温暖化でベースが高くなったから、昔のガウス分布の標準偏差 1.83 倍より低い気温の頻度が小さくなったということです。

ここまでは簡単ですが、そう簡単ではない面もあります。実は分布は、ずれるだけでなく、分布形も変わってきているのです。温暖化に伴って、だんだん分布の幅が広がっています。つまり、ガウス分布の山が低くなって、なだらかになっています。そうすると、さらに異常高温が増えます。異常低温もそれほど大きくは減らなくなります。

ということで、異常気象の出現頻度の変化に対する気候変動の影響は、平均値がずれたという面と、分布幅が変わってきたという両方があります。つまり、異常気象というのは気候変動と密接に関わっていて、両方同時に調べないと、全体の理解はできないということになります。



(図 2)

まず、気候変動ということで、よく知られている気温の変動です。全世界の年平均気温、1年間の平均気温を 1850 年から現在までグラフにすると、こういうふうになります (図 2)。これは平年偏差の図で、1971 年から 2000 年までの 30 年間の平均値に対する偏差です。青いところは平年より低いところ、赤いところは平年より高いところですが、20 世紀の後半ぐらいから顕著に気温が上がっているのが分かります。それ以前も少しずつ上がっているように見えますが、上がったたり下がった

りを繰り返していて、温暖化のシグナルはそれほど顕著には見えません。温暖化が顕著に見え出したのは、最近数十年です。

会場：この図はよく見ますが、いつも疑問に思うのは、例えば 1860 年ぐらいというのは、明治時代ですよ。その時代に、全世界的な気温といっても観測体制ができていないし、それからもっと昔のときは、いろんな調べ方をしますが、その調べる観測点も変わっていて、精度も変わっているから、どうやって平均を出しているのでしょうか？そしてそういう平均の出し方が世界の気温として評価するとき、本当に有意、意味があるのでしょうか？突っ込みみたいで申し訳ありませんがその辺を教えてください。

釜塚先生：この図は、イギリス気象局が作っている図です。近代的な気象観測は、18 世紀から 19 世紀の終わりぐらいにかけて始まりましたが、時代とともにだんだんと観測点は増えています。この図は、その時その時に使える観測点を使って作った図で、基本的にこれは陸上の値だと思ってください。海上には、値がありません。島がない限りは、測れませんから。船が通っていれば、海の温度を測ることも可能で、それを気温に代用することも可能ですが、これは少なくとも陸上だけの図です。砂漠の中とか、例えばヒマラヤ山脈なんところは観測点がありませんから、そういうところは当然分かりません。

会場：昔決めた点を、そのまま繰り返してずっと追いかけているということですか？

釜塚先生：厳密に言いますと、だんだんと観測点が増えてきています。今だと数千地点、1 万弱、19 世紀のころだと、多分数百地点でしょうね。観測点は、時代と共に増えてきています。そういう意味では、年代を通して質が完全に同じではないということは、注意していただきたいと思います。

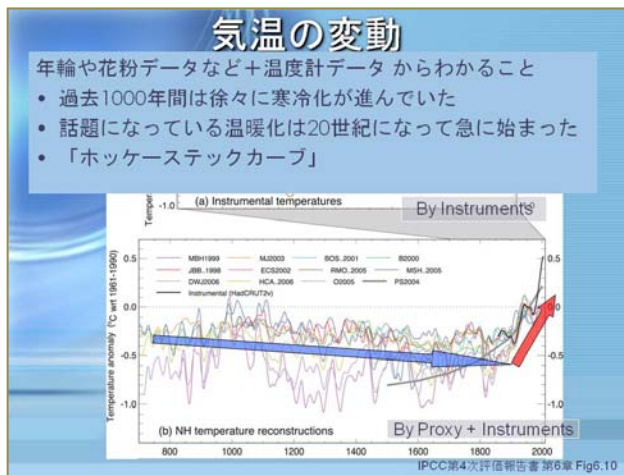
ただし、「代表性」という言葉をよく使いますが、例えば東京の今日の気温は何度だったというときに、横浜と同じか、仙台と同じか、というと当然違います。でも、平年と比べて何度高かったかという偏差を見ると、少々離れていてもそれほど違

いません。ですから、それほど観測点が多くなくても、ここで見ているような偏差を見る限りは、それほど不都合はありません。

会場：大手町のデータなんか、使い物にならないですよ。どうなっているんですか？

釜堀先生：気候変動という意味で、使い物にならないということですね。はい、おっしゃる通りでして、大手町に限らず、ヒートアイランドという言葉がありますが、都市は都市化によって非常に温まっています。それは気候変動と関係なく、都市ができたことによって温まるものですから、気候変動監視には使えません。

例えば、日本でも十数地点を選び出して気候変動の監視に使っていますが、その中に大都市は1個所も入っていません。つまり、田舎だけです。都市化が進むと気温がまわりと違ってきますから、気候監視には使えなくなります。



(図3)

(図3)は最近150年間、近代的な気象観測が始まってからの全球平均の気温偏差図です。ただ、別に温度計がなくても、気温というのは大体推定できます。ここに書いたプロキシというのは代理とか、代替等という言葉です。インスツルメンツというのが、温度計のことですね、測定器で直接求めた気温データです。これに対して、プロキシというのは代理データの意味です。

代理データとは具体的に何かといいますと、例えば湖の底に埋まっている花粉。気温が高ければ花がたくさん咲いて、花粉もたくさん出ます。その地層を掘って行って花粉を調べれば、1,000年前の花粉がどのくらいあるから、気温がどのくら

いだったはずだということが分かります。それから、例えば年輪です。気温が高いと木はたくさん成長しますから、年輪の幅が広がります。年輪の幅を見て、気温が高いか低いかが大体分かります。

ということで、過去1,300年間、この各線はいろんな研究者が、年輪なり花粉なり、いろんな代理データを使って調べた気温の推移です。だいたいばらつきはありますが、気温はどうもこんなふうに変化してきたみたいです。黒線がインスツルメンツ、つまり温度計のデータです。

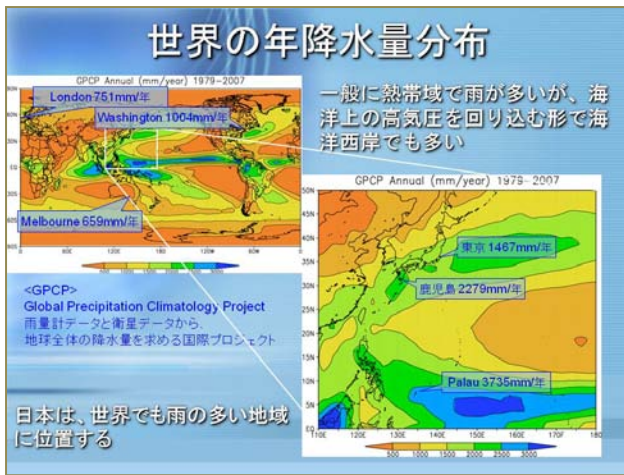
18世紀の後半以降を引き伸ばしたのが、上の図です。こっちはインスツルメンツだけのデータですが、インスツルメンツも幾つかデータがあって、各データ間に若干の差はありますが、大体総じて分かるのは、過去1,000年間、19世紀までは穏やかに気温が下がっていました。ところが20世紀になって、急に上がりました。これを見て、これが人間の活動による温暖化ではないと言う人はなかなかいないとは思いますが、これが温暖化の非常に大きな根拠です。

言えることは、年輪データや花粉データ、温度計データを全部組み合わせると、過去1,000年間は徐々に寒冷化が進んでいました。話題になっている温暖化というのは、20世紀になって急に始まりました。これは専門家の間では、「hockey stick curve」と呼ばれています。ホッケーの、ここは握るところですね。ここが、パックを打つところですね。ホッケースティックのような形をしています。このパックを打つところ、この部分が温暖化だと、皆さん信じています。

3. 日本における大雨の変動

こういう気候変動が進んでいるということをベースにして、大雨がどういうふうに変化してきたか、日本における雨がどう変化してきたかということを見ていきます。

まず、現在の世界の雨の分布がどうなっているかを見ますと、こんなふうになっています(図4左)。これはGPCP(Global Precipitation Climatology Project)という国際プロジェクトの資料ですが、雨量計のデータと衛星観測を組み合わせ、世界中の雨がどうなっているか、1979年から2007年までの29年間の年間降水量を表した



(図4)

ものです。図の青いところが雨が多いところ、オレンジのところは雨が少なくていいところなんです。

熱帯で雨が多いのはよく理解できると思いますが、大陸の西岸、アメリカ東部とか日本付近なども雨が多いです。なぜかという、海の上には高気圧がありますから、その周りを時計回りに風が吹いていて、高気圧の周りを回る風が南風になって、日本とかアメリカ東岸に暖かい湿った空気を運び、雨を降らせているのです。そのために、こういうところで雨が多くなります。

わたしたちが住んでいる日本付近はどうなっているのか拡大すると、こういうふうになっています(図4右)。ここに太平洋高気圧があって、その付近に雨が少なくていいところがありまして、その周りをぐるっと回る形で雨の多いところがあります。具体的にどのくらい降っているかという、東京で年間に1,500ミリくらい、鹿児島で2,200ミリくらい。ここにパラオという島がありますが、ここで3,700ミリくらい降ります。

この値が多いか少ないかという、世界的に見たら相当多いです。ワシントンは、大体年間1,000ミリくらいです。ロンドン700ミリくらい、メルボルンは600ミリくらい。これらの都市は、大体東京と同じくらいの中緯度に相当しますが、その中緯度の各都市と比べたら、日本の降水量はかなり多いです。なぜかという、繰り返になりますが、太平洋高気圧の周りを回る暖かい湿った空気が水蒸気を持ってきて、雨を降らせるためです。

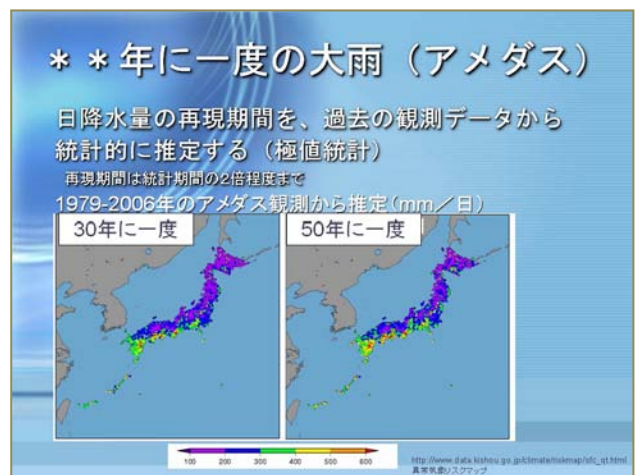
4. 観測から分かること

観測からはどんなことが分かるのでしょうか。

まず、何年に1回の大雨というのをアメダスで

見てみます。アメダスは気象庁が設置している無人観測網です。雨・風・気温・雪・日照時間を観測していて、そのデータを電話回線を使って収集しています。アメダスの観測地点は全国に約1300地点あります。アメダスが展開されたのは、1970年代の終わりぐらいなので、大体30年ぐらいデータがたまっています。30年あると平年値も作れますし、それからここに書きましたが、極値統計という統計学の手法があって、極端に多い雨はどのくらいの頻度で現れるかを計算することができます。

そこで、極値統計を使って、30年間のアメダスデータから、30年に1度の大雨はどのくらいか、50年に1度の大雨はどのくらいかと計算することができます。ただし、極値統計にも限界があって、再現期間の計算は、統計期間の2倍程度ぐらいまでが限度です。もちろん数字ですから、統計期間の100倍でも1,000倍でも再現期間は計算できますが、信頼できるのは大体2倍ぐらいとされています。ですから、30年間くらいのアメダスの統計からは、50~60年ぐらいに1回の雨ぐらいまでが、信頼できる再現期間を計算できる範囲です。

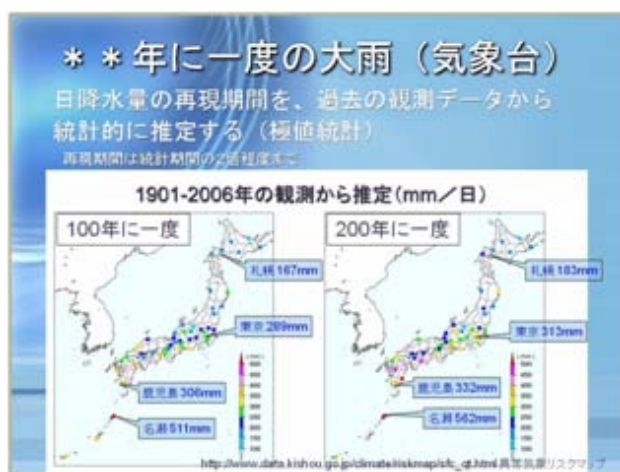


(図5)

30年に1度の日降水量の値というのは(図5左)のような分布をしていて、北海道付近だと100ミリ前後ですが、東京付近だと200ミリから300ミリくらいです。鹿児島付近だと、もう少し多くて、400ミリから500ミリくらいの雨が1日に降れば、それが30年に1度の大雨、つまり異常気象と呼ばれる値になります。

アメダスは全国に1,300地点ほどありますから、

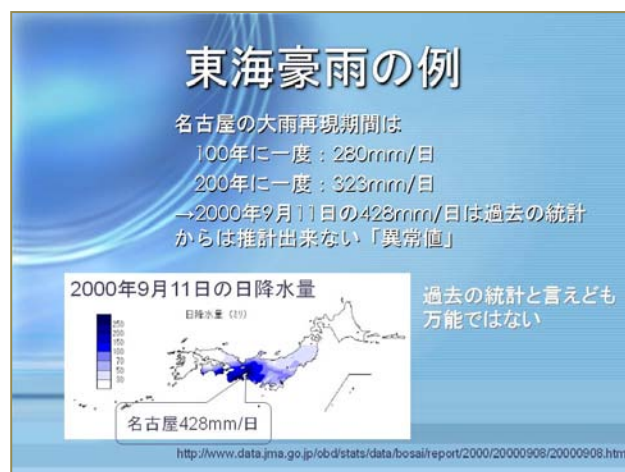
全国を網羅することができますが、残念ながら 30 年分ぐらいしかデータがなくて長い期間の統計を取ることができません。これに対して気象台のデータは、大体 19 世紀の終わりぐらいからありますから、100 年間くらいデータがたまっています。ただし地点数が少ないから、ぼつぼつとした分布で隙間がたくさんあいてしまっていますが、隙間があいてもいいのだったら、100 年に 1 度の大雨とか、200 年に 1 度の大雨を計算することができます。やはり、これも統計期間の 2 倍ぐらいまでが信頼できる限界ですから、100 年間の気象台のデータからは、200 年に 1 度の大雨ぐらいまでが計算の限界です。



(図 6)

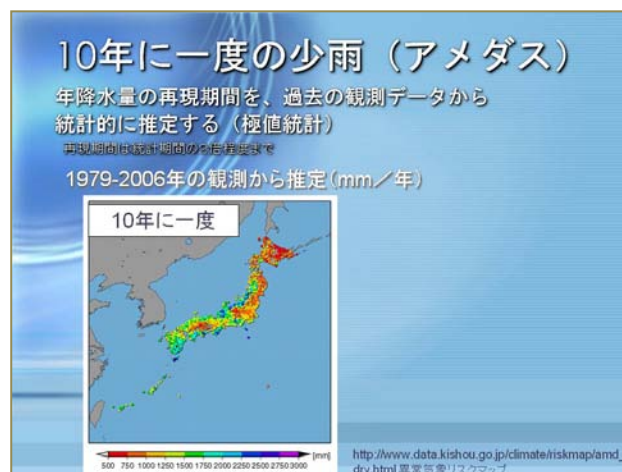
(図 6) を見ますと、100 年に 1 度の日降水量は、札幌で 167 ミリです。東京だと 289 ミリです。奄美大島の名瀬に行きますと、511 ミリ。札幌と名瀬を比べると、3 倍も開きがあります。当然といえば当然で、名瀬は付近に黒潮が流れていて暖かく、大気中に含まれる水蒸気が多いから、雨も降りやすい。ですから、札幌に比べたら、名瀬は 3 倍もの大雨が降ることになります。

こういうように、極値統計を使って大雨の再現期間を計算することができます。しかし、限界もあって、これに逆らうようなデータもあります。これはその典型例ですが、東海豪雨というのが 10 年ほど前にありました (図 7)。2000 年 9 月 11 日に、東海地方で大雨が降りました。このとき名古屋で 428 ミリ降っています。ところが、200 年に 1 度の大雨というのは、名古屋では 323 ミリなんです。東海豪雨ではそれよりさらに多い雨が降っていて、過去の統計からは計算できないような値です。



(図 7)

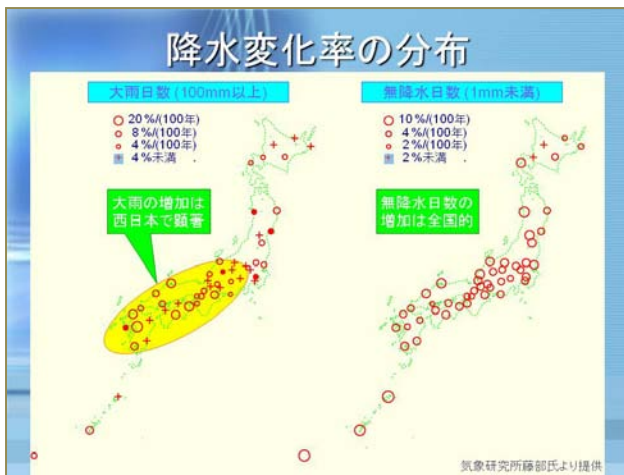
つまり極値統計にも限界があって、完全に全ての大雨を説明するというのは難しいのですが、東海豪雨の例は例外中の例外です。こういう例外もありますが、ほとんどのものは極値統計で説明できています。



(図 8)

逆に雨が少ない方、よく言う渇水ですね。渇水の発生頻度はどの程度か。これはアメダスから求めた、年間降水量が何ミリくらいだったら 10 年に 1 回の頻度かという数字です。(図 8) を見ると、北海道付近は 1,000 ミリ以下ですね。東京付近だと 1,000 ミリちょっと。奄美大島だと 1,500 ミリくらいだったら 10 年に 1 回ぐらいの少雨ということになります。

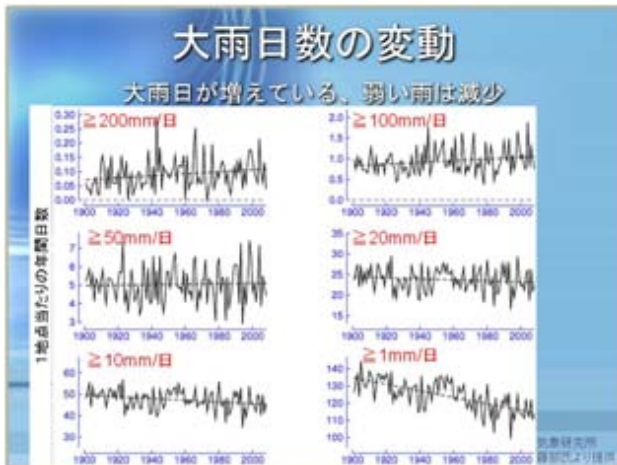
先ほど極値統計で大雨の確率が計算できると言いましたが、その大雨の日数が増えているか、減っているかを見てみます。(図 9) は日本の各観測地点における大雨日数を全部平均したものです。1 日の雨が 200 ミリ以上の年間日数が、20 世紀の初めから 21 世紀の初めまでの期間で、増えている



(図 9)

か、減っているかといいますと、実は増えています。もちろん年々変動がありますから、一様に増えているわけではありませんが、増えたり減ったりしながらもだんだんと増えてきています。1日の降水量が100ミリ以上の日数も、過去100年間に増えてきています。つまり、大雨の日数が増えているということです。

ところが少ない雨、例えば日降水量20ミリは年間何日くらいあるかを全国平均で見ますと、この100年間でだんだん減ってきています。日降水量10ミリの日はもっと減っています。1ミリになると、さらに減っています。つまり、雨の降り方が極端になっているということを意味しています。



(図 10)

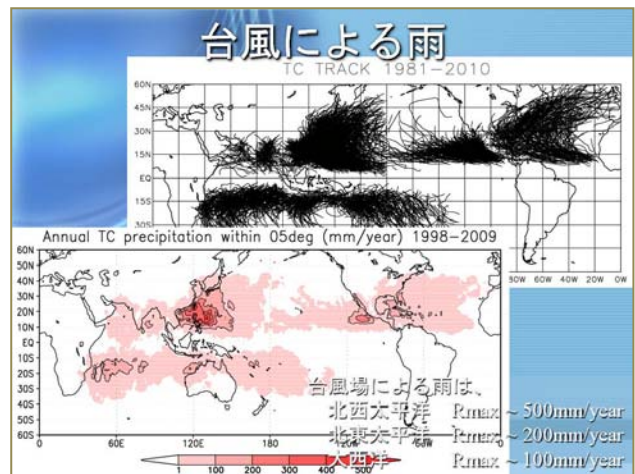
図9は全国平均だったのですが、次に、各地点でどういふふうに変化しているかを見てください。

(図10)は、過去100年間の100ミリ以上の大雨日数の変化で、一番大きい丸が20パーセント以上増えたところ、中くらいの丸が8パーセント以上増えたところ、小さい丸が4パーセント以上増

えたところ、プラス印が4パーセント未満のところ、こんな感じで増えています。

逆に日降水量が1ミリ未満の日、つまり基本的に雨が降っていない日数が増えたか減ったかを見ますと、ほとんどのところで増えています。この図から分かることは、どうも西日本では大雨の日数が増えています。一方、雨が降らない日は、全国的に増えています。過去100年間の統計をとりますと、こういうことが見えてきます。

5. 台風による雨



(図 11)

次に、台風による雨についてお話しします。台風で雨が降って、水資源がどういふふうとよく言いますが、日本付近の台風については、皆さんよくご存じだと思います。世界中で、台風がどこをどのように通っているかを見ますと、こういうふうに見えます(図11上)。これは1981年から2010年まで30年間の台風の経路です。厳密に言うと、台風という言葉は方言なんです。わたしたちのいるこの北西太平洋では、台風と呼んでいます。他の海域では、例えば大西洋ではハリケーンとか、いろいろ違う名前になりますが、ここでは代用的に世界中のものを台風と呼ばさせていただきます。世界中で、台風はこういうふうに進んでいます。1本1本の線が、台風の経路です。日本付近、北西太平洋は、ものすごくたくさんの台風が通っていくのがよく分かります。逆に、全然台風が発生しないところもあります。

こういう台風が、年間どのくらい雨を降らせているかを計算しますと、こんな感じになります(図11下)。これは衛星観測データから求めたも

のですが、衛星観測で台風による雨が細かく観測できるようになったのは、1990年代の終わりぐらいからなので、この図は1998年から2009年まで12年間の統計です。フィリピンの東から台湾の東あたり、この付近で年間400～500ミリぐらい降ります。日本付近でも、100ミリぐらい降っているところがありますね。

会場：一見して北半球が多い理由が何かあるんですか。

釜堀先生：はい。一見しておわかりと思いますが、南東太平洋と南大西洋ですね。ここではほとんど台風が発生しません。なぜかという、ここは海水温が低いんです。さっき言いましたように、大洋上には高気圧があって、北半球では時計回りに風が吹いています。南半球は逆の反時計回りですね。としますと、北半球だとアメリカの西岸では、北から風が吹き寄せてきますから、その風によって、海の流れは寒流になります。高緯度地方から低緯度地方に水が流れます。ですから、ここは水温が冷たいです。同じようにして、ペルー沖の南東太平洋でも冷たいです。ですから、ここは台風が発生しません。アフリカ沖の南大西洋も同じような理由で、やはり発生しません。

ただ、ニュースで何回かお聞きになったことがあるかと思いますが、この南大西洋ではたまに台風が発生します。2004年でしたか、ブラジル沖で発生して大被害が出たこともありました。たまに発生しますが、本当に何年に1回ぐらいで、この図では現れないぐらいです。特に大洋の西岸で多いというのは、大洋上の高気圧の周りを時計回りの風が吹いているために、温かい水が西岸に吹き寄せられているためで、日本付近やカリブ海、メキシコ湾で発生しやすくなっています。

会場：それではアフリカの東側はなぜ台風が発生するのでしょうか。南極から来る冷たい風は、アフリカの東海岸辺りも同じように流れ、チリと同じような南緯にあるのに、何で喜望峰というか、アフリカの南のところは発生するんですか、南アメリカと条件は同じなんじゃないでしょうか？チリのところは陸地が南極近くまでのびていて、南極を巻いている海流がありますよね。その影響

がぎりぎりまでいっているから、あつちは冷たい水が来て、アフリカ沖は南極まで少し海の幅があるから、温かい水が流れる分があるから、差が出ているんじゃないでしょうか。

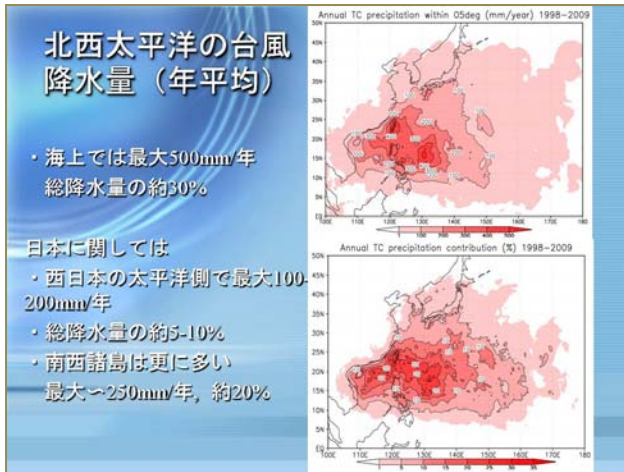
釜堀先生：アフリカ東海岸は南インド洋を反時計回りに回る風のために、赤道地方から高緯度に向かう暖流があります。そのため、海水温が高く、台風が発生しやすい条件がそろっています。チリ沖の南東太平洋が大洋の東側に相当して寒流が流れているのに対して、アフリカ東海岸は大洋の西側に位置して暖流が流れているという違いです。

会場：南半球のもっと高緯度、つまり南極に近い方は、南極を回るように強い風が吹いていますよね。だから、それによって、今言った中緯度のところも影響を受けているのではないのでしょうか。

釜堀先生：中緯度は南極周りの強風の影響を受けていますが、影響を受けているのは、おおよそ南緯45度より高緯度側で、それより低緯度にはあまり影響はありません。基本的に台風が発生するのはもっと低緯度の方で、せいぜい南北30度くらいまでですね。それより高緯度では、ほとんど発生しません。従って、南半球の台風には南極の周りを吹く強い風の影響はほとんどありません。

では、先ほどの図に戻ります(図4)。なぜこの図を出したかといいますと、よく見るとこの台風による雨というのは、フィリピンの東から台湾の東側に、沖縄の南辺りに相当しますが、この辺にピークがあって、このピークは年間の雨の少ないところにちょうど相当しています。それは、太平洋高気圧の周りをぐるっと回ってくる風に伴って台風が発生するから、高気圧の周りのもともと雨が少ない地域を台風が進むということの意味しています。

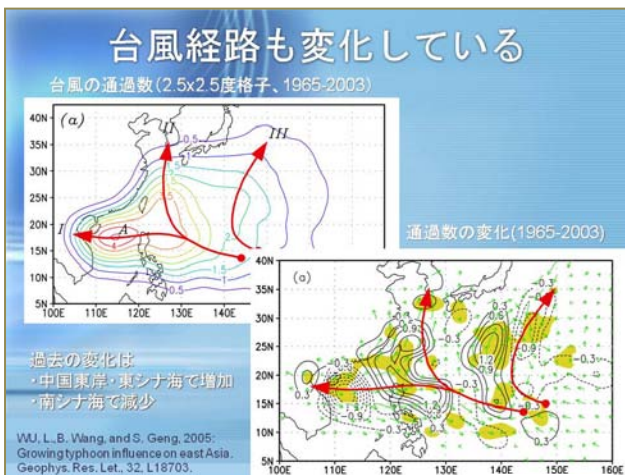
日本付近を拡大してみますと、ちょっと図が小さかったですね。お手元の図(図12)を見てください。上の図が、台風による年間降水量の絶対値です。下の図は、年間の全ての雨に対する台風の雨の割合です。これを見ますと、フィリピンの東海上で、大体年間で最大500ミリくらいが台風で降ります。これは下の図で見ますと、全ての降水量の約30パーセントに相当しています。



(図 12)

日本付近を見ると、台風による雨は、西日本の太平洋側で年間 100 ミリくらいですね。多いところでは、九州の東側で 200 ミリぐらい降っています。これは総降水量に比べると、5 パーセントから 10 パーセントくらいに相当します。ですから、台風が全く来ないと、年間の雨の 10 パーセントくらいが降らなくなるということを意味しています。これは日本本土の話ですが、南西諸島だともう少し大きくなって、台風が全く来ないと 20 パーセントくらい減ってしまうという結果になりまして、それが渇水の 1 つの原因でもあります。

それから、台風経路も実は変動しています。先ほどこの図 (図 1 1) を見せましたが、台風が多すぎて、線で真っ黒に塗りつぶしてしまってよく見えませんが、こういうふうに進んでいます。これは、過去 40 年間の台風がどこを通ったかを、2.5 度の緯度経度の格子を切って、その中を台風が年間何個通ったかを数えたものです。これによると、台風の通過数は南シナ海で 1 番多くて年間 4 個ぐらいです。それから台湾付近でも、年間 2 個から 3 個くらい通って行きます。



(図 13)

(図 1 3) では、台風通過数の等値線の尾根の形状から、通りやすい経路を 1 番、2 番、3 番と名付けています。1 番の経路はずっと西へ進んで、南シナ海を西へ進むコース。ほかの経路は、よく転向 (貿易風に乗って西へ進んでいた台風が偏西風に乗って東向きに向きを変えること) という言葉を使いますが、この転向する経路を 2 番経路と 3 番経路とに分けます。2 番経路は南西諸島を通じて日本に来るか、あるいは朝鮮半島に進む経路です。3 番の経路は、ずっと日本の東海上を偏西風に乗って通る経路と名付けています。

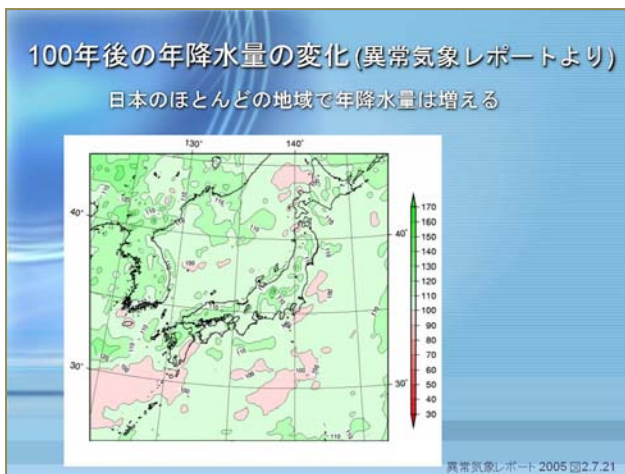
この三つの経路は過去 40 年間の平均ですが、その平均経路が 40 年間の間にどう変化しているか、変化率を計算することもできます。変化率はこうなっていて、点線のところは通過数が減っているところ、実線は増えているところです。図中の矢印は、40 年平均の経路です。よく見ますと、1 番のコース、つまり南シナ海を西進するコースは激減しています。偏西風に乗って南西諸島から朝鮮半島・日本列島に来る 2 番の経路は若干西に寄っていますが、かなり増えています。3 番のコース、日本列島に近づかずずっと東の太平洋上で偏西風に乗ってしまうものも、西にずれますが、やはり増えています。

基本的に台風はどうやって移動するかというと、大きなスケールの風の場合、何千キロスケールの大気の流れに乗って動きますから、台風の経路が変動しているということは、何千キロスケールの風の場合が変わってきていることを意味しています。つまり気候変動に伴って風の場合が変わって、南シナ海に台風が進みづらくなっている訳ですね。逆に、東シナ海・中国東岸では台風が来襲しやすくなってきています。過去 40 年間に、台風の経路はこういう変化をしています。

5. 温暖化予測から

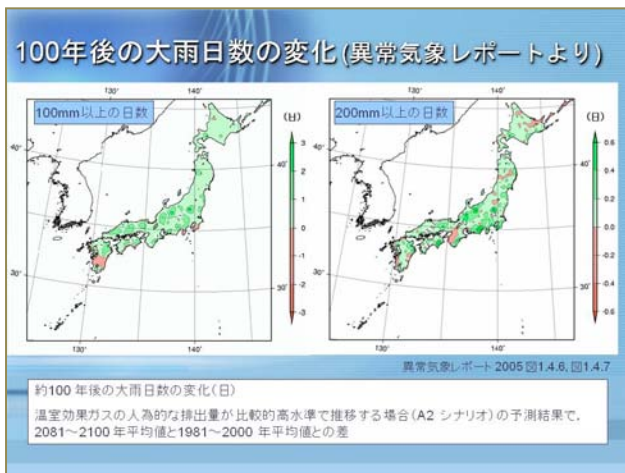
さて、ここから今後の予測の話です。

(図 1 4) は、気象庁が出している異常気象レポートの中に紹介されている図ですが、日本付近の年間降水量が、現在と比べて 100 年後に増えるか、減るかです。この 100 と書いてあるのが、増えも減りもしない 100 パーセント。赤いところは減るところ、緑色のところは増えるところです。これを見ますと、日本全国ほとんどのところで、年間



(図 14)

の雨は増えるという予測になっています。大体 110 とか 120 の線が引かれていますから、10 パーセントから 20 パーセントぐらい増えるというような予測結果が出ています。

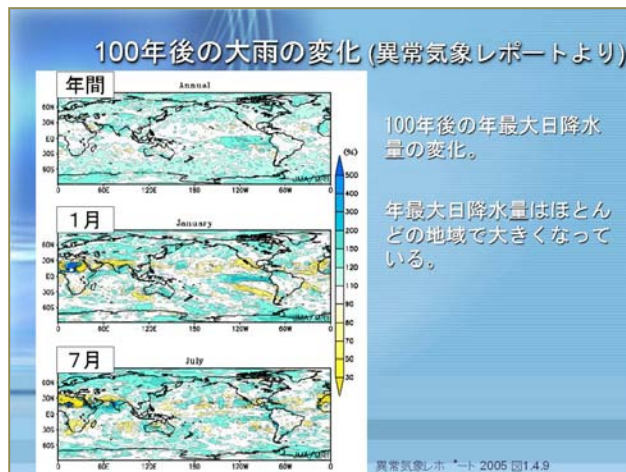


(図 15)

年間降水量は増えますが、大雨は増えるか、減るかを見ると、(図 15 左側) の図が、日降水量 100 ミリ以上の日数が増えるか減るか。(図 15 右側) の図が、日降水量 200 ミリの日が増えるか減るかを表しています。ほとんどのところでは増える、日降水量 100 ミリの日数も増えれば、200 ミリの日数も増えるという結果が出ています。

ここで、A2 等と書きましたが、温暖化がどう進むかというのは、今後人間社会がどうなるかに関わっています。IPCC では、どのくらい経済成長が進んで、どのくらい二酸化炭素を出すかというシナリオを、30 通りぐらい考えています。大きく分けて、AシナリオとBシナリオとあって、Aシナリオというのは高度経済成長が続く、Bシナリオは続かず、節約社会がやってくる。つまり、A

シナリオは高度経済成長が続いて、たくさん二酸化炭素を出す。Bシナリオは、あまり出さない。もちろんBシナリオでも二酸化炭素は増えますが、増え方が緩やかになります。この図は、Aグループの中の一つのシナリオの結果です。ご覧のように、Aシナリオ、つまり高度経済成長が続けば、大雨が増えるという結果が出ています。

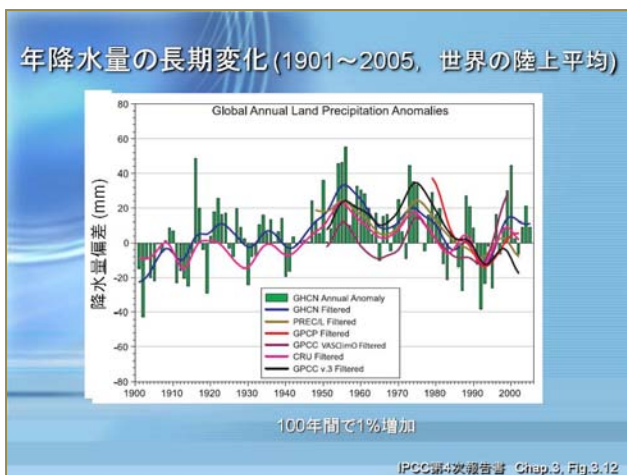


(図 16)

次に、世界中で見て、年最大日降水量がどのくらい 100 年後に変わるかを見ます(図 16)。1月の雨、7月の雨がどう変わるかを見ますと、大雨の強さは、一部弱くなる場所がありますが、かなりの部分で強くなるという結果が出ています。注目したいのは、弱くなる場所というのは、もともと降らないところです。サハラ砂漠とか、オーストラリアのこの辺の砂漠とか。降らないところは、より降らなくなるという結果が出ています。

7. IPCC はなんと言っている？

IPCC がどう言っているかということを見てみたいと思います(図 17)。まず 1900 年以降、20 世紀の初頭から現在まで年間の雨の全世界平均が、増えたか減ったかという図です。雨のデータセットはたくさんあります。データセットによって、降水量データを作るグループによって若干値が違ってきますが、これで見ますと、年間の雨は、1970 年ぐらいまでは増えていました。ところが、1970 年代以降はがくんと減りました。そして、最近はまだ増えたみたいです。気温と違って、雨はこういうふうに非常に変動が激しいです。単調には増えていません。



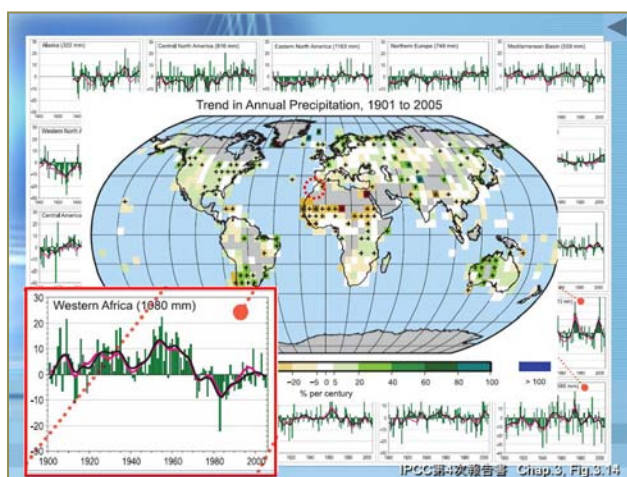
(図 17)

会場：11年周期ですか？小刻みなのは、太陽活動の周期ですか？

釜堀先生：太陽活動ではないと思います。

G：太陽活動の11年の周期には、引っ張られていないんですか。

釜堀先生：はい、太陽活動の周期とは合っていないと思います。十数年の周期は確かにありますが、太陽活動ではなくて、これは太平洋の深いところの変動と合っているようです。後でその図をご紹介しますと思います。

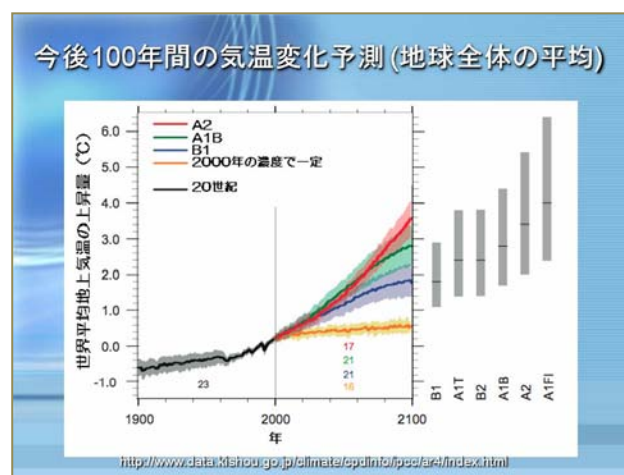


(図 18)

最近雨が減ってはいますが、無理やりトレンドの線を引くと、100年間で1%ぐらい増えています。世界平均ではこういうふうに見えますが、どの地域で減って、どの地域で増えているかを見ると、(図 18) のようになっています。緑のところが

が増えていているところ、それからこの橙色のところが減っているところ。+ (プラス) の記号が付いているところがありますが、これは統計学の言葉で検定というのがある、この増えているのは偶然か、それとも確実に増えているかを判定する手法ですが、確実に増えているというところがプラスです。統計学の検定という方法を使って、偶然か確かかを判定したものです。

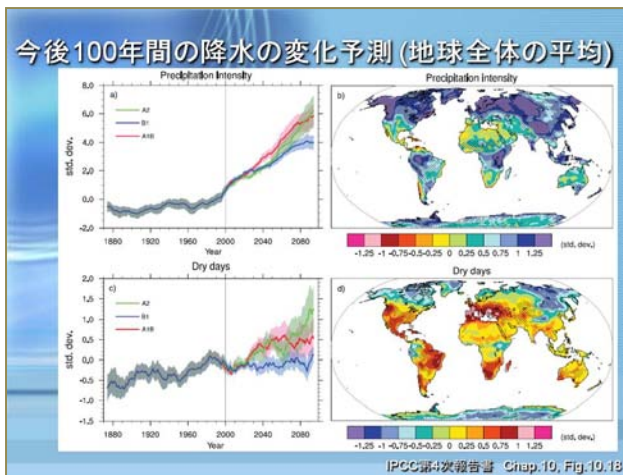
サハラ砂漠付近は確実に減っています。南米の南部は、増えています。オーストラリアも増えています。実際にグラフにするとこんな感じになって、アフリカの西部ではこんな感じで減っています。それから、南米はこんな感じで増えています。アフリカだけ取り出してみると、こんな感じで減っています。10年、20年前からアフリカの干ばつのニュースがたびたび出ていますが、この降水量が減っているのが1つの大きな原因です。



(図 19)

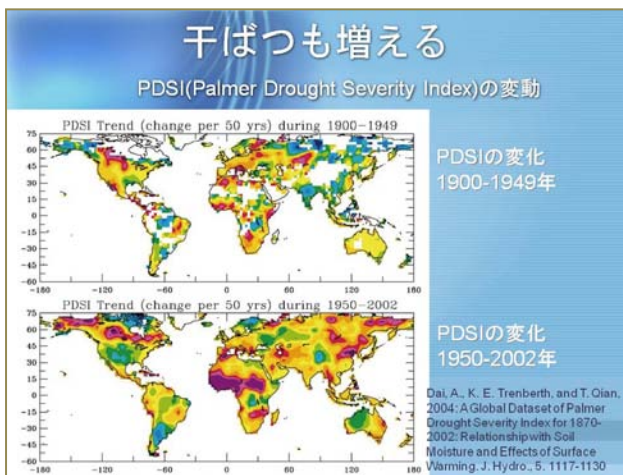
(図 19) は、先ほど言いました IPCC のいろんなシナリオによる気温の予測です。この 1900 年から 2000 年までの線は観測で、黒い線のように気温が上がってきました。今後どう気温が上がるかですが、この A グループというのが、高度経済成長の時代が続くと仮定した場合、B グループというのは、環境重視の社会が実現できた場合です。いろんな予測がありますが、それぞれのシナリオに応じて、気温が上がっていくことになります。

この気温の上昇に伴って、雨がどう変わるでしょうか。まず上の図が、雨の強さがどう変わるかです。ある指標をとって、雨が強くなるか、つまり大雨が降りやすくなるか、それともしとしと雨が降りやすくなるかを調べると、この寒色系のと



(図 20)

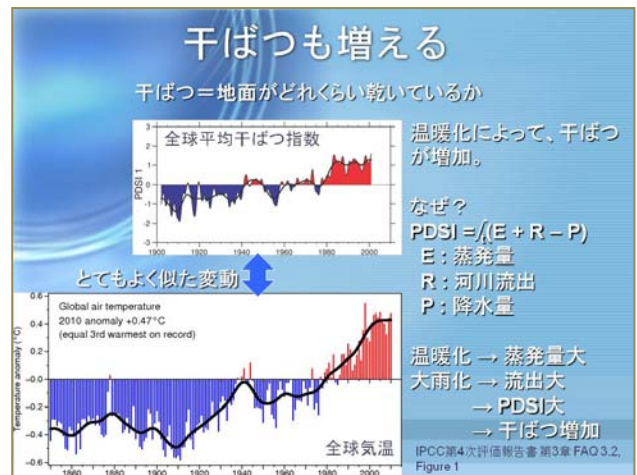
ころは、大雨が多くなるどころです。この暖色系のところは、しとしと雨が多くなるどころです。これを見ますと、乾燥地帯では若干弱い雨が多くなるところもありますが、世界の大部分では、雨が強くなるという結果が出ています (図 20)。



(図 21)

(図 21 下) の図は、雨が降らない日が増えるか減るかを表しています。ほとんどのところは雨が降らない日が増えることになっています。雨が降らないということは、干ばつが増えるということになります。干ばつを表す指標として、Palmer Drought Severity Index、略して PDSI というものがあります。Drought というのは、干ばつの意味です。次のスライドでどういう指数かをご紹介します。

20 世紀の前半に PDSI がどのくらい変化したか、20 世紀の後半でどのくらい変化したかを見ますと、20 世紀の前半の変化に比べて、20 世紀後半の変化の方が非常に大きくなっています。アフリ



(図 22)

カの乾燥地帯では、特に大きく変化しています。ほとんど、全世界どこでもこの指数が増えていますから、世界中どこでも干ばつの危険が増えているということが言えます (図 22)。

それは、雨が大雨で降りやすくなり、それ以外のほとんどの日数は降らないからです。大雨がざっと降って、あとの日は降らないからです。というのは、干ばつというのは地面がどのくらい乾いているかを意味しているからです。温暖化によって、干ばつが増加しているということが言えます。

PDSI は図 22 右の式で表すことができます。E というのは evaporation 蒸発量、地面からの水分の蒸発です。それから R は run off 河川流量といって、川が海へ流す水の量。P は precipitation 雨です。ですから、地面が失う E と R から、地面が得る P の差をとってある時間積分すると、PDSI になります。数か月間ぐらいの時定数で積分します。地面の乾き方は日々変化していますが、時間積分すると、この PDSI が得られます。

大雨が増えるということは、河川流出が増えることを意味します。大雨がざっと降るので、一気に海に流れるわけです。同時に、温暖化が進むと地面が温まるので、蒸発量も増えます。ですから温暖化が進むと、雨も若干増えますが、それよりも蒸発量と河川流出が増える、そのために地面が乾きやすくなるということが、温暖化に伴って干ばつが増えるというメカニズムになっています。

実際、干ばつ指数 PDSI を世界平均して年々変動を見ると、こういうふうに見えます。20 世紀初頭から現在まで、こういうふうに変化しています。

(図 22 下) の図が、先ほどお見せした全球平均

気温の変化ですが、非常によく似た変化をしていることがわかります。

地球温暖化に伴う気候変化
IPCC第4次報告書(2007)

現象及び傾向	20世紀後半(主に1990年以降)に起こった可能性	観測された傾向に対する人間活動の寄与の可能性	21世紀の予測に基づく傾向の継続の可能性
ほとんどの陸域で寒い日や夜の減少と昇温	可能性がかなり高い (Very likely) >90%	可能性が高い (Likely) >66%	ほぼ確実 (Virtually certain) >99%
ほとんどの陸域で継続的な高温/熱波の頻度の増加	可能性がかなり高い >90%	可能性が高い(夜間) >66%	ほぼ確実 >99%
ほとんどの地域で大雨の頻度(もしくは総降水量に占める大雨による降水量の割合)の増加	可能性が高い >66%	どちらかと言えば (More likely than not) >50%	可能性がかなり高い >90%
干ばつの影響を受ける地域の増加	多くの地域で1970年代以降可能性が高い	どちらかと言えば >50%	可能性が高い >66%
強い熱帯低気圧の活動度の増加	いくつかの地域で1970年代以降可能性が高い	どちらかと言えば >50%	可能性が高い >66%

<http://www.data.kishou.go.jp/climate/opdinfo/ipcc/ar4/index.html>

(図 23)

地球温暖化に伴って気候がどう変化しているか、IPCC の第4次報告書、5年ほど前に出たものですが、まとめるとこんなふうになります(図23)。まず陸域で寒い日・寒い夜が減少していることは、20世紀後半に起こった可能性がかなり高い、very likely ですね。IPCCでは、very likely とか、likely という言葉を使って確率として信頼性の目安を表しています。お手元の IPCC の冊子(第4次評価報告書—政策決定者向け要約)の中に、そういう用語がどんな意味なのか出ていますので、後で参照していただけるといいと思います。

赤く書いた部分がほぼ確実である、だんだん色が薄くなって、寒色系に繰り下がって、自信が減っていくという意味になっています。寒い日が減っているというのは、20世紀後半に起こった確率としては90%ぐらい。それが人間活動によるものかということ、ちょっと自信は減るけど、たぶんそうでしょう。21世紀にもそれが続くかといったら、ほとんど確実に続きます。

熱波も、同じように増えています。それから、大雨が増えたか減ったかについては、20世紀後半には大雨が増えた可能性が高い、66%以上です。それが人間活動によるものかといったら、ちょっと自信は減るけど、50%ぐらい。それが21世紀も続くかといったら、これはかなり高い確率で続くだろうと、IPCCも結論づけています。

同じようにして、干ばつの影響を受ける地域が増えるか減るかということ、20世紀後半はまだそれほど言えませんが、21世紀にはその可能性が高い

というふうに結論づけています。それから、熱帯低気圧と書きましたが、台風のことです。これも21世紀に活動度が増加する、強くなりそうだというふうに結論づけています。

地球温暖化で大雨が増える理由を、気象庁の異常気象レポートおよび IPCC 第4次報告書では以下のように言っています。

「地球温暖化にともなって気温が上昇することにより、大気中に多くの水蒸気が蓄えられることから、強い降水現象の頻度が西日本をはじめ全国的に増加するとの予測結果が得られた。」—気象庁「異常気象レポート」(2005)—

“The frequency of heavy precipitation events has increased over most land areas, consistent with warming and observed increases of atmospheric water vapour.”

(大雨の頻度はほとんどの陸域において増加しており、これは昇温や観測された大気中の水蒸気量の増加と整合している。) —IPCC 第4次報告書—

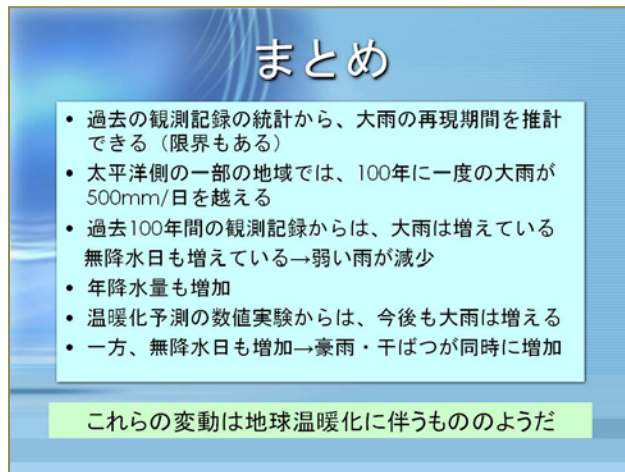
地球温暖化が進むと、気温が上昇します。気温が上昇すると、皆さんご存じのように飽和水蒸気圧が増えますから、大気中の水蒸気が増えます。そのために大雨が増えるというふうに解釈しています。実際に、大雨の頻度はほとんどの陸域で増加しているというのが IPCC の結論で、この大雨の増加というのが、気温が上がっていることと、大気中の水蒸気が増えていることと整合的だと結論づけています。

7. まとめ

まとめです(図24)。過去の観測から極値統計という手法を使って、大雨の確率が計算できますが、それによりますと、過去100年間の統計では、大雨の日数は増えています。大雨が増えています。同時に雨が降らない日も増えています。つまり、弱い雨が減っています。つまり、雨の降り方が変わってきているということが言えます。年間の降水量も、さっき言ったように、100年後には現在より10パーセントぐらい増えるという予測になっています。また、今後も大雨は増えます。

同時に、無降水日も増えるので、干ばつの可能

性もさらに高まります。つまり温暖化に伴って、大雨の可能性も高くなれば、干ばつの可能性も両方高くなっている。相反するように思えますが、今言ったように、大雨が増えると同時に、雨が降らない日も増えるということで、干ばつの可能性が高くなります。



(図 24)

最後に参考ホームページを紹介します。

最初に紹介した、IPCC の第一作業部会、サイエンスを担当する部分ですが、ここにその報告書の原文があります。ここに IPCC の報告書が全部掲載されています。これは英語ですから、日本語がいいという方は気象庁の訳した報告書を見ていただければ、こちらも参照できます。

- ・ IPCC-WG1 AR4 “Intergovernmental Panel on Climate Change Working Group 1 4-th Assessment Report”
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html
- ・ IPCC 第一作業部会第 4 次評価報告書(和訳)

<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/>

それから、先ほどから何度も異常気象レポートという言葉を使いましたが、異常気象レポートというのは、日本付近でどういう異常気象が起こっているか、それが将来増えるか減るかということをもとめた報告書で、気象庁のホームページに掲載されています。それからもう 1 つ、地球温暖化予測情報、こっちは予測だけですが、日本付近の気候が今後 100 年間でどう変わるかということが、

ここに載せてあります。

- ・ 異常気象レポート
http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/climate_change/
- ・ 地球温暖化予測情報
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/GWP/index.html>

以上で終わります。

司会：これからは質問タイムで、どんどん活発な質問をお願いします。

会場： IPCC の第 4 次報告書の表 (図 2 3) について、重箱の隅を掘り返したような質問ですがお尋ねします。

「20 世紀後半に起こった可能性」とありますが、2007 年報告の時点では 20 世紀後半はすでに過去となっているのに可能性とっているのはどういう意味でしょうか？また、「21 世紀の予測に基づく傾向の継続の可能性」というのは、21 世紀のいつごろなのでしょう？前葉なのか、中頃なのか、末頃なのか教えてください。

釜掘先生：まず、「20 世紀後半に起こった可能性」ですが、このベースになっているのは観測データです。この観測データには 2 種類の誤差の可能性があり。1 つは、地域ごとに観測値が違います。例えば、気温が上がっているかということ、大部分のところでは上がっていますが、中には上がっていないところもあります。これが誤差の原因になります。2 番目の誤差ですが、観測自体にも測定器固有の誤差があります。その測定値がどのくらい正しいかということで、誤差棒がつきます。このような 2 種類の誤差のために観測データには誤差棒がついて、その大きさでどのくらい自信があるか、それを可能性という言葉で表したのです。誤差棒が小さければ、自信がありますという意味で、可能性が高いということになります。

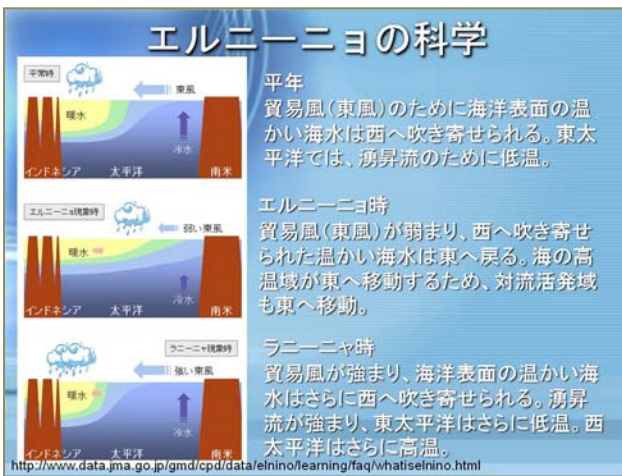
2 番目の「予測」というのは、簡単に言うと 21 世紀の変化に乱暴に線を引くと、どうなるかという、100 年間の変化がどういうふうな方向にあるかということを行っている、いわば今後 100 年間の平均的な変化と思ってもいいです。

会場：ありがとうございます。

会場：非常に興味深いお話でした。

エルニーニョとかラニーニャという、チリ沖の温度が上がったり下がったりする現象についての質問です。これがなぜ起きるか？なぜそれが継続しないで、ある周期で変わっていくのか？そのトリガーになっていることは何でしょうか？それが、21世紀にかけてどう変わっていくか？ということについて教えてください。

釜塚先生：そういう質問が出るだろうと思って、予備のスライドを幾つか用意してきました。



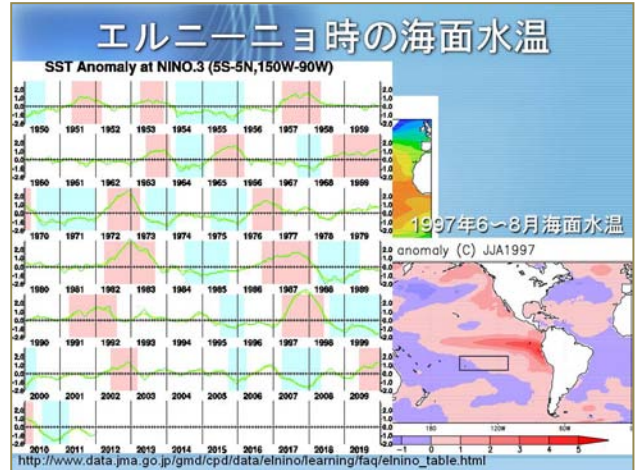
(図 25)

ここにいらしている方は皆さんご存じかもしれませんが、まずエルニーニョについて、あえて説明させていただきます(図25)。よく ENSO という言葉で呼ばれています。EN は、エルニーニョのことです。SO は、Southern Oscillation 南方振動と呼ばれています。意味は次のページでまた出てきますが、エルニーニョとラニーニャとがあります。

エルニーニョは赤道太平洋東部、つまりペルー沖の海水温が上がることです。逆のこともおきます。赤道太平洋西部、つまりフィリピン沖が高くなるのは、エルニーニョの逆のラニーニャです。この言葉の意味は皆さんご存じだと思いますが、これはスペイン語ですが、スペイン語は男性名詞と女性名詞があって、エルニーニョは男性、ラニーニャは女性です。どちらも英語にしたら、the child ですね。英語と同じで、普通名詞に定冠詞を付けると、神様を意味します。つまり神様の男の

子、神様の女の子です。

それは置いておいて、南方振動という言葉があります。図26のように、太平洋西部と東部の気圧がシーソー関係にあり、片方が高いときは、片方が低い。これとエルニーニョとは、実は切っても切れない仲なのです。



(図 26)

まずエルニーニョとは具体的にどんなものかということですが、(図26)は世界中の、6月から8月の3カ月平均の海面水温です。フィリピンからニューギニア付近では29度くらいです。ペルー沖では22~23度で、とても低いです。それは、この付近に寒流が流れているからです。

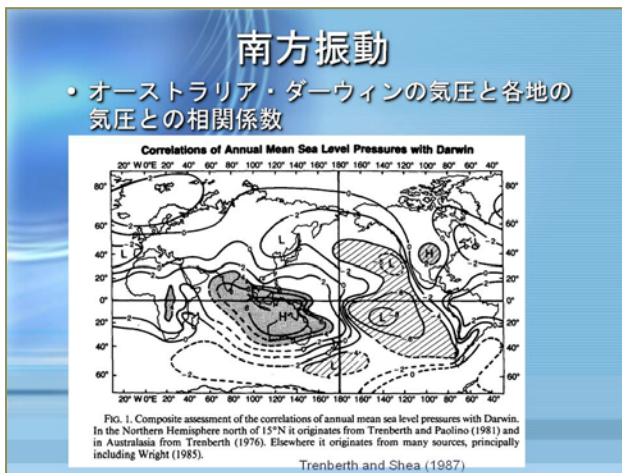
平年の海面水温はこういう分布をしています。この図は1997年6月から8月の平均、15年くらい前に発生したエルニーニョのときの、海面水温の平年値からの偏差です。赤いところが高温偏差のところで、赤道太平洋東部では平年より5度くらい高いです。こういうふう海面水温が上がるのが、エルニーニョです。なぜこの年を選んだかということ、この1997年から1998年にかけて発生したエルニーニョが、20世紀最大だったからです。

会場：そのとき、サンマは取れるんですか。

釜塚先生：ペルー沖ですね。ペルー沖はサンマではなくて、カタクチイワシの漁場ですが、取れなくなるんだそうです。

エルニーニョの指標としては、赤道太平洋東部の海面水温の平均水温を監視しています。この部分が上がるか下がるかで、エルニーニョが発生したか、ラニーニャが発生したかを判定しています

が、過去 60 年間を見ますと、こんなふうに見えます。この赤いところが、エルニーニョが発生した時期です。海面水温が上がっていますね。97 年から 98 年、これですね。過去一番高いですね。青い時期もあります、これはラニーニャですね。こういうふうにエルニーニョ・ラニーニャは起こっています。

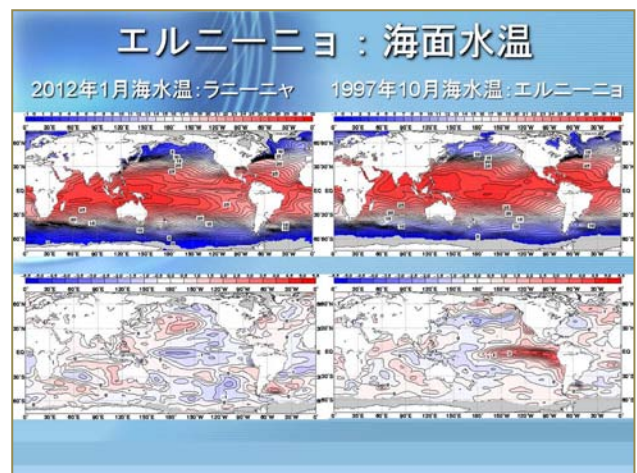


(図 27)

なぜ起こるのかを説明するには、まず南方振動を理解していただく必要があります(図 27)。オーストラリアのこのHの記号のあたりに、ダーウィンという町があります。ダーウィンは、19世紀の終わりぐらいからずっと気象観測をやっている、気圧データが100年以上そろっている、ここを指標に使います。ダーウィンの気圧と世界各地の気圧の相関をとると、こういう分布をしています。つまり西太平洋から東インド洋にかけては、ダーウィンと同じような変動、つまりダーウィンの気圧が高いときは、こういうところも高い。逆に、東太平洋は低くなります。つまり西太平洋の気圧が高いときは、東太平洋は低い。逆に西太平洋が低いときは、東太平洋が高いという、シーズン関係の変動にあります。

これがどうエルニーニョと関係してくるのでしょうか。平年では、太平洋の赤道付近では、貿易風という東風が吹いていますから、その貿易風が、太陽に暖められた温かい海水を西へ運んでいます。ですから、西太平洋は暖かい、東太平洋では海の深いところから冷たい海水がわきあがって冷たいという分布をしています。これは、ダーウィン付近の気圧が低い、南米の方は高いという分布をしているためです。

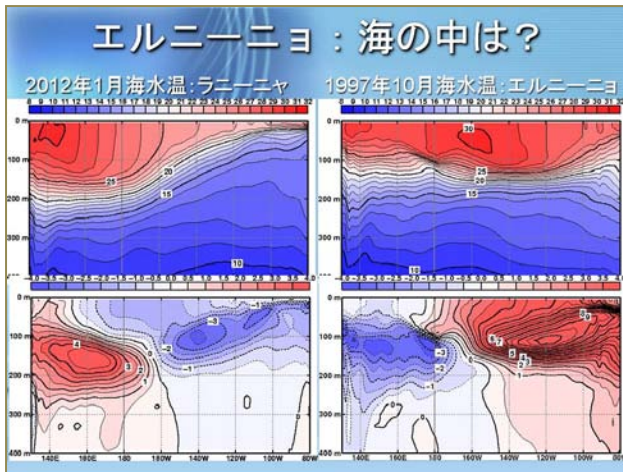
ですが、ダーウィン付近の西太平洋の気圧が高くなることもあります。気圧が高くなると、気圧の分布からいって、東風は吹きにくくなり、東風が弱くなります。すると、温かい海水を西へ運ぶ力が弱くなって、西にたまっていた温かい海水がだんだん東へ移動していきます。そのために東太平洋が暖かくなって、エルニーニョが発生します。逆にダーウィン付近、西太平洋の気圧が下がると東風、つまり貿易風が強まって、さらに温かい水を西へ運んでいく。そのためにラニーニャが発生します。



(図 28)

具体的に海面水温を見てみましょう(図 28)。現在ラニーニャ状態ですが、2012年1月の月平均の海面水温分布は左の図、1997年10月、20世紀最大と言われたエルニーニョの最盛期には右の図のようになっていました。今年1月は東太平洋に随分冷たい水が入り、逆に西太平洋はかなり温かくなっています。偏差で見るともっとよくわかります。現在東太平洋は、平年より1度から2度くらい低い状態です。エルニーニョの1997年は、東太平洋がとても温かい状態になっていました。

海の中を見ると、実はこんな感じになっています(図 29)。これは海面から水深400メートルまでの赤道太平洋の水温分布ですが、この図で見ると、先月2012年1月、ラニーニャ状態のときには温かい水が西太平洋にたまっていて、東側が冷たくなっています。つまり赤道貿易風が非常に強くて、海面付近の温かい水がどんどん西へ吹き寄せられているわけです。1997年10月、エルニーニョが最盛期のころは、貿易風が弱まったために、温かい水がずっと日付変更線まで移動してしまい



(図 29)

ました。平年偏差で見るとこんな感じで、実は海面付近に見えているのはごく一部で、海の中はもっと暖かかったり、もっと冷たかったりします。こういう分布が ENSO の本体です。

会場：振動で行ったり来たりというのは分かるんですが、ニュートラルで止まるという状態は考えられないんですか？ 温度の分布が変わるわけですよ。どうしてそれが extreme まで行って、またこうなるんですか。全く素人なので分からないのですが。

釜堀先生：周期や振幅がなぜこの大きさになっているかは、まだよく分からないというのが正直なところですが、大気も海洋も静止している訳でなく流れていますから、なにがしかの揺らぎが生じると、それが増幅します。ニュートラルで止まるということはありません。振り子みたいに極端に振れたら、逆に極端に振れることを繰り返しています。ENSO の場合は、大体数年周期ですね。

会場：それ以外の何か要因があるのではないかと気がします。例えば、太陽の黒点の動きとか、地球に入ってくるエネルギーの量が、そのバランスを崩すような要因になっているのかということも思いますが、いかがでしょうか？

釜堀先生：1つ分かっているのは、海の中を波がいつも伝わっていて、この図は平均場なので見えませんが、西から東にいつも波が伝わっているんですね。ケルビン波という波が伝わっていて、そ

れがだんだんとエネルギーを貯めて、エルニーニョを起こすのではないかとされていますが、まだ研究が必要です。

会場：ありがとうございました。質問を先読みしていただいて、ありがとうございました。

会場：今はラニーニャ状態ということで、西太平洋の海水温が高いわけですね。それにも関わらず、日本は大変寒かったですが、高い海水温の比較的近くにいるのに、とても寒かったのはどういう理由でしょう？

釜堀先生：ラニーニャのときは、日本付近は統計的には寒くなりやすいことがわかっています。なぜそうなるかのサイエンスは置いておいて、ラニーニャのときに日本の気温がどうなるか、過去 60 年くらいの統計でみると、夏は、ラニーニャのときには若干気温は低めです。冬も若干低め。東日本はちょっと分かりませんが、西日本・沖縄でちょっと低めになるということが、統計から言えます。ただ、北日本は逆で、ラニーニャの冬には暖かくなる傾向があります。

会場：近くの海の温度とその陸地の温度は、あまり関係ないということですね。

釜堀先生：いや、海の温度と陸地の温度は密接に関係していますが、ENSO というのは熱帯の現象で、日本付近の現象ではないんですね。ですから、インドネシアとかフィリピンとかの温度がどう変わるかというのは、確かにエルニーニョの影響を直接受けますが、日本は間接的に影響を受ける形になります。難しい言葉になりますが、テレコネクション (teleconnection) という言葉があって、遠方からどう影響してくるかということです。

間接的な影響というのは、波が伝わってくる現象があって、波が伝わってどこに高気圧ができ、どこに低気圧ができるか。例えば、これは有名な現象ですが、夏にフィリピンの付近で雨がたくさん降ると、日本は暑くなります。なぜフィリピン付近で雨がたくさん降ると日本が暑くなるかというと、雨がたくさん降ると凝結熱をたくさん出すから、空気が膨張して気圧が下がってフィリピン

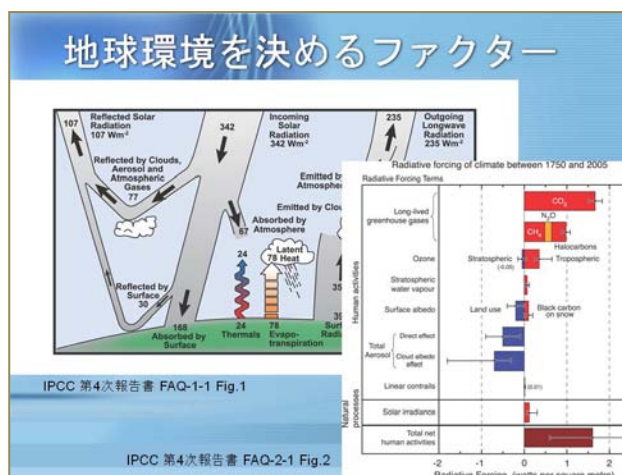
付近は低気圧になります。その下降流は日本付近に落ちます。下降流が落ちると、高気圧になります。こうやってフィリピン付近が低気圧になって、日本付近が高気圧、さらにその北東に低気圧というふうに波状の列ができます。これがテレコネクションというもので、遠方の影響が伝わってくるのです。この場合、フィリピン付近は低気圧で雨、日本付近は高気圧に覆われ晴れて暑くなるというように、逆の傾向になります。

会場：ご専門から外れていたら結構ですが、CO₂について質問させてください。今日はCO₂の話がなかったのですが、CO₂の増加量と気温の上昇というのは、比例しているとか、追従しているという話がよく出てきます。あれは動的な平衡状態にあるのか、あるいはまた一説では、CO₂の増加が止まっても気温は上がるという話も聞いたことがあります。それはどうかというのを教えていただきたいと思います。

釜堀先生：地球の温度の決まり方ですが、地球が太陽からの光を吸収し地球を暖めます。一方、地球は暖められると地球からも赤外線を宇宙空間に向かって放出します。そのエネルギーバランスで地球の温度が決まるわけです。太陽光や赤外線を吸収し放出する気体の中にCO₂などの温室効果ガスがありますが、これが増えるとバランスが変わって気温が上がるというわけです。このCO₂がこの100年間で急激に増えています。すると温度が上がります。

現在の地球大気の気温は、CO₂と平衡状態になることは分かっています。ですから、CO₂が今後全く増えなくても、気温だけは上がっていきます。ある平衡状態に向かって、だんだん上がってきます。もちろんCO₂が増えなくなったら、上がり方はだんだん緩やかになってきますが、今後とも気温は上がることになります。

その図がこれです(図30)。これはIPCCの図から引用してきましたが、地球大気の熱バランスがどうなっているかです。太陽が地球を暖めているのが342ワット/m²。最近こたつがある家が減りましたが、こたつは大体400ワットくらいですよ。ですから、こたつが全世界に並べられていると思えばいいと思います。そのくらい、太陽は地



(図 30)

球を暖めています。その一部は雲に反射して、宇宙空間に逃げていきます。さらに、一部は地面で反射して宇宙空間に逃げていきます。最終的に地面が受け取る太陽放射は、全世界平均で168ワットです。これは、衛星観測で求めた値で、ほとんど間違いのない値です。

地球表面はこれだけ暖められていますが、地面からは赤外線を390ワット放出しています。その一部は宇宙空間に逃げていきますが、ほとんどは雲や大気によって吸収されます。吸収されて、また下向きに放射されて、図のようなバランスをとっていますが、このバランスを崩すものが温室効果ガスです。大体このくらいバランスが崩れているのではないかとされていますが、この数百ワットの熱収支に対して、CO₂は1.数ワットくらい大気を暖める方向にあります。そのほかにもメタンとか、NO₂とか、いろいろな温室効果ガスが1ワットくらい暖めて、ここに誤差棒がついていますが、このくらいの不確実性を持って地球を暖めていると推定されています。

逆に、地球を冷やすものもあって、硫酸エアロゾルなんかも、地球を冷やす方向にあります。これも含めて全部トータルするとこのくらい、1.5ワットくらい地球を暖めているのではないかと考えられます。誤差棒がだいぶ大きいので、不確実性も大きいですが、このくらいの割合で地球を暖めているのではないかというふうに見積もられています。

会場：将来予測の話で教えてほしいのですが、全体的に雨が増えて、大気中の水蒸気の量が増える

と、植生も大きく変わっていくような気がします
が、将来予測のモデルは、そういう植生の変化と
かも入っているんですか。

釜堀先生：はい、入っています。コンピューター
でシミュレーションする道具のことを気候モデル
と呼びますが、最近の気候モデルには気温が変わ
ったり、雨の降り方が変わったら、植生がどう変
わるかということが入っています。最新の IPCC
報告書（第4次報告書）に反映されています。

初期の気候モデルには、植生の変化は入ってい
なかったですね。入っていないために、昔は不確
実性が大きかったのですが、いろいろな要素を取
り入れることによって、不確実性はだんだん減っ
てきています。

それからついでに言いますと、海面水温が上が
ると、海氷も当然減ります。昔の気候モデルは、
海氷が減る効果は入ってなかったのですが、現在
は入っています。

司会：時間になりました。ここで質疑応答を終わ
らせていただきます。本日は、どうもありがとう
ございました。(拍手)

以上