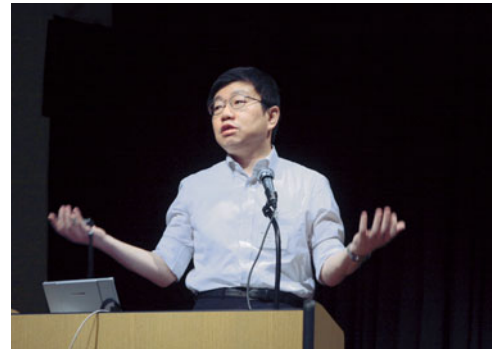


基調講演

「地球温暖化のこれまでとこれから」

大阪管区气象台 技術部長
里田 弘志



(スライド 1)ただいまご紹介いただきました大阪管区气象台技術部長の里田と申します。今日は大変お忙しい中おいでいただきましてどうもありがとうございます。私からは「地球温暖化のこれまでとこれから」と題しまして、いわゆる地球温暖化に関していろいろ言われていることに関して、現時点で一番確からしいことは何なのか、これからどういうことが予測されているかといったお話をさせていただきます。

約1時間45分とたっぷり時間をいただきましたので、単なるお話だけではなく、少し楽しいこともやってみたいと思っておりますのでよろしく願いいたします。

最初に、地球温暖化とよく言われますが、別に人間が何もしなくても地球の気候というのはどんどん変わってきているんだというところからまずお話をさせていただきます。

(スライド 2)これはご覧のとおり大阪の地図です。大阪の海岸線は、ずっと昔から今のものであったわけではないということは多くの方がご存じだと思います。

(スライド 2-①)これは約6000年前の大阪の海岸線です。当時の海岸線は今よりもずっと奥まで入っておりまして、茨木、高槻まで海でした。このあたりはいわゆる河内湾と呼ばれていたということは皆さんご存じの方も多ので

はないでしょうか。大体6000年前をピークとして、このあたりの気温は現在より1、2℃高かったと言われております。そのせいか大阪湾の海面水位が現在より高くてこれだけ入ってきました。

(スライド 2-②)それ以降4000年前、(スライド 2-③)2000年前、だんだん海岸線が前に出てきて、(スライド 2-⑤)約1100年前にはこのぐらになったということです。もちろん海岸線が前に出てくるというのは気候の変動によるものだけではなくて、川の土砂で埋められたとか、それから最近になりますと人間活動で埋め立てといったようなことがあったと思います。ですがこういったいろいろな要因で地球の気候というのは大きく変わってきたということが言えるわけです。

ところがこういった自然のゆったりした変動とは質の違う急激な気候の変動が現在起きつつあると言われております。これがいわゆる地球温暖化と言われているものです。

ここで一度地球温暖化の仕組みをおさらいしてみたいと思います。

(スライド 3)こちらを見ていただきますと、地球に太陽から光が入ってくる。これが我々の生命を育み、地球の気候を決めるいわばエネルギー源ですが、入ってくる太陽の光のうち雲や地面で反射されたりするものを除きますと大

体 69%、ざっと 7 割が地球に一旦吸収されます。地球温暖化とは申しますが、おおむね地球の気温というのは一定に近いということで、入ったものは出て行かなければいけない。ということで、入った太陽エネルギーと同じだけの量の赤外線が宇宙空間に出て行くということになります。

この出入りの釣合いから大体地球の平均気温が評価できます。そうすると大体 -19℃ぐらい、冷凍庫より冷たいような世界ということになります。ところが幸いなことに我々の住んでいる世界はそんなに寒くはありません。そこで出てきますのが大気中の温室効果ガスというものです。これは地球から出て行く赤外線を一度吸収してはね返して下に戻してくれる。雲などにも同じような効果がありますが、熱を戻してくれるということで地球の平均気温は 14℃程度で保たれていると言われていました。

このように一旦出て行こうとするエネルギーが戻っていくのが温室効果と言われるのですが、私は温室と言うよりも、お布団なり毛布なり、1 枚余計にかぶっている、そういうイメージで思っております。

実は大気中の温室効果ガスの中で 1 番効果が大きいのは水蒸気です。2 番目が二酸化炭素、その後メタンやフロン仲間などがあげられます。このように温室効果というのは、我々の世界をこういう状態に保ってくれる上でなくてはならない物質ですが、最近温室効果ガス濃度がだんだん増加して、1 枚かかっていた布団が 2 枚になってくるということで、地球の大気の温度が上昇していくという、これが地球温暖化というわけです。

(スライド 4)この地球温暖化、温室効果ガスの効果というのは別に最近知られたわけではなくて、ずいぶん昔からお話としては分かっております。これはスウェーデンのアレニウスという物理学者、19 世紀の終わりごろから大変活躍した方で、1903 年にはノーベル化学賞

を受賞しています。この方が 1896 年に「大気中の炭酸ガスが地上気温に及ぼす影響について」という論文を発表しております。この中で人間活動による二酸化炭素の増大が地球に温暖化をもたらす、大気中の二酸化炭素が倍増したら世界の平均気温が 5、6℃上昇すると書いているそうです。この大気中の二酸化炭素が倍増した時の昇温量は、今では 3℃~4.5℃と評価されており、今よりは少し過大評価だったわけですが、このように温室効果ガスがあることで地球の平均気温は変わってくるということが 100 年以上前から知られていました。

ところが気候の変動をもたらす要因というのは別に温室効果ガスだけではなくて、太陽の活動、あるいは火山の活動などいろいろな他の要因があります。そういったものと比較したときに温室効果ガスがどのぐらい大きく効くのだろうかということが、割と定量的にわかってきたというのはここ 20 年ぐらいということになると思っています。

(スライド 5)このようにアレニウスが論文に書いたことを小説に取り入れたのが宮沢賢治です。宮沢賢治は花巻で生まれてイーハトーブに関する小説をたくさん書いた人ですが、この中に「グスコブドリの伝記」というお話があります。この中に冷害に悩んでいるイーハトーブを救うために、カルボナード火山というものを爆発させたら炭酸ガスが増えていくだろうと。そうすると地球全体が 5℃ぐらい暖かくなるというふうに書かれています。賢治の研究者の本を読みますと、「グスコブドリの伝記」の他にも、アレニウスの著作を引用したとおぼしき場所がいくつかあるようでして、どうやら賢治はアレニウスを読んでいたらしいと言われております。

(スライド 6)このように以前から温室効果ガスの効果というのは知られてきたわけですが、そのあたりが 1980 年代後半になりましてからだんだんと国際的に問題視されるようになって

てきたということで、それをきちんと調べようじゃないかということで国際的な組織が立ち上がりました。これが気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change：以下 IPCC と略す）という組織です。これは世界気象機関と国連環境計画という 2 つの組織が共同で設立した国連の機関です。

IPCC が何をやるのかと言いますと、人為起源による気候変化、その影響、適応及び緩和方策に関して科学的、技術的、社会経済学的な見地から評価を行うというのが仕事です。客観的に何が起ってどういう影響があるのか、それを防ぐためにはどんなことができるのかといったことを評価する組織です。1988 年に設立ということですので昨年で 20 周年。皆さんもよくご存じだと思いますが、2007 年にはノーベル平和賞を受賞しております。

IPCC には 3 つの作業部会があります。この中で第 1 作業部会というのが科学的な根拠を評価するもので、今日のお話のもっぱらこの結論を引用してご紹介します。それから第 2 作業部会というのは地球温暖化に伴って、どんな影響があって、どのようにそれに対して我々は対応していけるのかということの評価です。それから第 3 作業部会では、緩和策と言って、温室効果ガスの削減をするための方策を検討するのが目的です。

IPCC は、1988 年に設立されましたけれども、その第 1 次評価報告書が 1990 年に出ています。それから 5、6 年に 1 度のペースで報告書を作っておりまして、2007 年に第 4 次の評価報告書がまとまりました。私も第 4 次の評価報告書の取りまとめには若干参加して、その中での議論にも参加させていただきました。

(スライド 7)気候変動に関する政府間パネルの第 4 次評価報告書での非常に大きな結論というのが、気候システムの温暖化には疑う余地がないという、大変強いメッセージです。その根拠としまして IPCC では 3 つ挙げています。1

つ目は、世界の平均気温がこのように過去 100 年で約 0.74℃程度のペースで上昇しているということ。それから北半球の積雪の面積がどんどん減ってきているというのが 2 つ目。それから 20 世紀の海面水位が 100 年間で約 17cm のペースで上昇しているというのが 3 つ目の根拠として挙げているわけです。

中でも世界の地上気温、これは気象庁も継続的にモニターを続けていますが、最近非常に高温の年が連続しています。それから過去 100 年の昇温傾向が 0.74℃でしたが、ここ 50 年はこの約 2 倍に昇温が加速しているということをおっしゃっています。

また海というのは大変偉大でありまして、気候システムに加えられた熱の 8 割以上は海が吸ってくれているんですが、その吸ってくれた分海が温かくなるということで海水温が上昇する。それから熱膨張で海面水位が上昇するということも起こっています。

それから氷河や雪氷域がだんだん減っています。それからグリーンランドや南極は、普通の氷河よりずっと大きい氷床と言っていますが、これがだんだん流れていく効果が加速しているんじゃないかということも言われています。

それから地球温暖化の話をして、よく観測は町の中で行われたから、いわば都市化の影響、いわゆるヒートアイランドが見えているだけじゃないかということをおっしゃられることもありますが、都市化の影響は非常に局地的であります。観測結果にちゃんと補正を加えているということもあって、世界的な昇温傾向を左右するようなものではありません。また海水温も上がってしまっていて、これはもちろん都市化とは関係ありません。確かに我々の気候というのはだんだん温度が上がってきていますよと、これはもうはっきりと言えるというのが結論です。

(スライド 8)これから少し細かく、どういうことが起こったのかということを見ていき

いと思います。これは気象庁が解析した世界の年平均気温の変化ですが、これがだんだん上昇してきており、昨年は平均値から+0.2℃ということで10位となりました。一番高かったのが1998年、次が2004年、2006年、2003年ということで、2000年前後に非常に高温の時期がありました。IPCCの評価では100年あたり0.74℃、気象庁の解析では100年あたり0.67℃という数字になります。

このグラフを示すときにいつも申し上げるのですが、この赤い太い線、これは全体の平均的なトレンドをあらわすものですから、ある意味ではこれが温暖化を表現しているグラフです。

ところがこの細い縦棒、これは毎年の平均気温の偏差ですが、この赤い線のまわりにばらついていきます。ある年が非常に暑い年だと言っても、その次の年はそれほどでもない。この年は結構低い年だということで、大きく変動があることがわかります。次に日本でもどうなるかということをお見せしますが、日本ぐらいの広がりではもっとこれが激しくなります。逆に言うと、ある年が非常に暑い時に、これは温暖化なんですとか言われても、我々はそうですとか違いますとか言うことはできません。ただしこうやって見ていただくと、昔はこんな高温の年なんて1つもなかったわけです。だんだん気温が上がっていく。このように以前に比べて寒い、低温の年がなくなってだんだん高温の年が出てくるというのが、地球温暖化というものだと考えていただきたいと思います。

(スライド 9)じゃあ日本はどうかということ。これは日本の、できるだけ都市化の影響の小さな地点、言いかえると田舎の地点の中で、できるだけ気象官署の移転がなかったことを念頭に置いて17地点選びますと、平均気温の上昇率が100年あたり1.11℃ということで、世界の平均よりはもう少し大きな値になります。これは地球温暖化の影響だろうと言える

わけです。

それに大阪の気温を重ねてみます。これは大阪の平均気温を同じようにやってみたものですが、大阪の上昇率は100年あたり約2℃になります。日本の平均昇温率が100年あたり約1℃ですから、その倍ということになります。これはもちろん地球温暖化の影響だけではなくて、都市化の影響、いわゆるヒートアイランドの効果が入ってこれだけの増加率になっているということが言えるわけです。ちなみに東京になりますと、100年あたり3℃となり、非常に大きく変化しているということが言えるわけです。

(スライド 10)暑い日や寒い日について見てみましょう。全国的に最高気温35℃以上の猛暑日や、最高気温30℃以上の真夏日が増加してきております。最近30年で見ますと、1930年頃に比べますと1.5倍ぐらいの頻度になっています。大阪で見ますと、これはもちろん都市化の影響というのも入ってくるわけで、真夏日の日数というのは大体1930年代の1.3倍ぐらいに増えてきている。

それからもっと顕著に出るのは最低気温が25℃以上の熱帯夜日数です。これはこのようにぐっと増えてきている。その一方で、最低気温が0℃を下回る冬日が急減しています。これはもちろん地球温暖化だけではなくて、都市化の影響も入っていますけれども、こういう傾向は日本中どこでも見られます。

(スライド 11)次は雨の降り方を見てみます。こちらはIPCCの報告書を引用したもので、緑色の系統のところは増加傾向で、茶色系のところは減少傾向ということになります。先ほど世界的な気温や海水温が上昇していると申し上げましたが、雨や雪の量についてはそれほど世界的にぐんぐん上がっているとは言えません。南北アメリカやヨーロッパなど、非常に増加しているところはいくつかあります。その一方でサハラ砂漠の南側のサヘル地域や

アフリカ南部等は乾燥化が進んでいます。その他の地域ではあまりはっきりした変化は出ていません。

日本ではどうかと言いますと、長期的には少し年降水量に減少傾向はありますが、統計的に見てみますとはっきり減っているということとは言えません。最近では、1900年頃と比べると、年降水量の多い年と少ない年が非常にばらけるようになっていきます。平均値としてはあまり変わらないんですが、多い年と少ない年が出るようになってきたということで、これはある意味では水の管理といった点で難しい問題をはらんでいると思います。

(スライド 12)次に大雨の日数について見てみます。気象庁は各地の気象台で降水量の変化を観測し続けていますが、1900年からの約100年で1日100mm降った日数を勘定しています。そうしますと20世紀のはじめに比べて今は大雨日数が約1.2倍に増加したことが言えます。1日200mm以上の日数になりますと、これはもちろんぐっと頻度が減るわけですが、これも大体20世紀のはじめに比べると日数が約1.4倍に増えてきていることがわかります。

(スライド 13)じゃあ近畿地方ではどうでしょう。近畿地方で見ますと実は異常少雨が増えてきているという計算結果が出ています。

これは月降水量で見ているのですが、100年間で月降水量を順番に並べてみます。少ない方から1位、2位、3位、4位、この年に1位が出た。この年に2位が出たということをやっていく。それを月ごとに重ねていくわけです。そうすると月の降水量がとても少ない記録が出た年というのを勘定できるわけです。近畿地方のいくつかの地点でその平均をとることで、異常少雨出現数を算出することができます。

その結果、20世紀のはじめの30年間と比較しますと、最近の30年間は異常少雨の発生頻度が2.2倍に増加しているということが言えます。1990年代後半には異常多雨も異常少雨も

増加する傾向が見られましたが、2000年以降になりますと、異常多雨の方はあまり増加傾向はないのですが、異常少雨というのが増えつつあることが、近畿地方では言えるということになります。

(スライド 14)次に雪の量です。雪の量というのは、降水量というよりはむしろ気温で決まるところがあります。これは東日本の日本海側、北陸から新潟にかけての平均的な降雪量の傾向です。これは気温の上昇をある程度反映していますが、1980年代の後半までは非常に大きく変動しつつ多少増えているようにも見えますが、それ以降ずっと減りました。

私は田舎が島根県の松江で、私が子供のころ1960年代から70年代の初めぐらいは非常に寒かったことを憶えています。一冬に3回か4回は10cm、20cmの雪が積もって、1回ぐらいは1mぐらい積もりました。最近松江の方はそんなことは全くなくなりました。先日ちょっと雪が降ったらうちの親も困ってしまいました。昔はそんな雪は当たり前だったのですが、それだけ雪の降り方が変わってしまいました。

じゃあどこでも変わっているのかと言うとそうではありません。北日本、東北以北ではこのようにあまり減っているわけではありません。これは気温に一定の臨界値があって、そこを超えるととたんに雪が減ることになるのかなあと思っています。

(スライド 15)一方、台風の数はどうなのだとよく聞かれます。北西太平洋の熱帯低気圧を台風としているわけですが、気象庁は台風に関する情報を作ってアジア各国に流す仕事もしています。そのために1950年代から台風の発生をモニターしていますが、その調べによりますと台風の発生数あるいは接近数には大きく20年ぐらいの波があるものの、今のところ統計的に有意な傾向は表れていません。

大西洋のハリケーン、これはアメリカの気象

庁がずっとモニターし続けていますが、これも数については大きな傾向はないということでは同じ結果が得られています。ただ大西洋のハリケーンの強さについては強くなっている傾向があるというふうに言われていますが、これについても、台風についてはあまりはっきりした傾向は見られていないというのが現状です。ということで現時点ではあまり大きな変化がないということになります。将来予測のところでもまた別のお話が出てまいりますので、そのときにまたお話ししたいと思います。

(スライド 16)これは一昨年非常に大きな話題になりました、北極海の海氷面積です。これも人工衛星で継続的に北極の氷の様子をモニターしております。アメリカの研究所が作った月平均を持ってまいりましたけれども、2007年に非常に海の氷の面積が小さくなったということが言われました。我々気候変動を見ている立場から言いますと、1980年代からじわじわと長期的に下がっているのを大変注目して見ているところです。この赤い線はそれぞれの月の平均的な氷の範囲ですが、ある時ずとんと小さくなって、この赤い枠を大きく下回るということが起きました。さらに次の年はもっと減るんじゃないかと心配していましたが、今年の9月には、非常に少なくはなりましたけれども、その前の年ほどではなかったということで、ちょっと安心したわけです。

北極の氷と温暖化の関係ですが、最初にお話ししたように、地球の雲や地表面で太陽の光の約3割は反射されます。特に氷は白いですから非常によく光を反射します。ところがこうやって海が出てしまいますと海は光をよく吸収するので、反射率が非常に低くなり、地球温暖化がさらに加速していくと言われています。

もちろん北極の海氷は海に浮いていますから、これがなくなっても海面水位が上昇するということはありません。IPCCの評価によりますと、海氷面積は長期的に減少傾向が続いてお

ります。夏の海水は、21世紀の後半までにほぼ完全に消滅してしまうという予測も出ております。こうやって海氷面積が一旦非常に減ると、2年3年ずっとあり続けるような海氷というのは少なくなり、1年目の割と薄い氷が増えてくるというような、実際に行った方のお話だとそういうことなのだそうできて、これからだんだん溶けやすくなる状態が続くのではないかとされています。

一方南極の海の周りの氷の量を見ますと、北極周辺の海の氷のような変動というのはほとんど見られておりません。あまり大きな変化ではないというのが現在の見解となっています。

もう1つ、このように氷が少なくなると、それまでは冷たい氷があったところが海面になる。海水は -2°C よりは低くなりません。ということはこれまで以上に温まるわけです。そうするとここで温まった大気の流れが変わってくると言われています。実は2007年の次の年、日本は非常に寒い冬になりました。むしろ溶けたことでジェット気流が非常に強く蛇行して、日本付近に寒気が入ってくることも多くなったのではないかとこのことを研究している方もいらっしゃいます。ですから遠い北極の話ですが、実は我々の天候にも大きく関係してくるかもしれないということが研究されているということです。

(スライド 17)それからIPCCの報告書は、南極あるいは北極の氷の話、氷河の話が非常に多く記述されています。氷河の変動についてお話ししますと、これはネパールのショロン山域というところにある氷河です。ここは名古屋大学の方々が継続的に観測を続けていらっしゃる場所で、そこをお願いして写真をいただいてまいりました。1978年にはこの長さが約1.7kmということで、中位から少し小ぶりの氷河なのだそうです。アングルが同じになるように作った写真で、1989年には氷河の先端がこのぐらいになった。大体1991年までにこの先が年平

均 4.5m ずつ後退しているということになります。1999 年までには後退が加速いたしました、2004 年にはこのようになってしまったということです。名古屋大学の皆さんは、今世紀の半ばまでにはこの氷河は完全に消滅してしまうだろうと考えていらっしゃいます。

海面水位上昇の主な要因が、海の温度が上がることによる熱膨張だと先ほど言いましたが、次に大きい要因が、このような比較的小さい氷河がどんどん溶けていくということだと言われているとおりです。

これは大変大きな問題になります。この氷河が溶けて流れた先には非常にたくさんの方が、ここから流れてくる水に頼っているわけですね。こういった方々にとって非常に重要な水瓶がだんだん減ってくるということになります。21 世紀は水の時代と言われますけれども、こういった点からも非常に懸念されるということが言えると思います。

(スライド 18)それから気候変動に伴って、生き物に出ている影響をお示しします。全国の気象台は、桜の開花を観測し続けております。冬から春にかけては、桜の他に梅とかイチョウ、最近で言うとアジサイの開花あるいは発芽、秋の紅葉などの観測をしています。このうち桜の開花には早春の気温が影響するということで、開花日が 50 年間で平均すると 4.2 日、大都市では都市化の影響もあって 50 年間で約 6.1 日早くなっています。

ただこれだけではわかりにくいので 4 月 1 日に桜前線がどこにあったかという図を作ってみました。これは 4 月 1 日に桜が開花している場所、赤が開花していた場所、白がまだ開花していなかった場所で、1970 年ごろの平均的なものです。1970 年のころは、桜は入学式の時に咲いていたものです。1970 年代、九州の北部から四国の瀬戸内沿岸、大阪、京都はまだ咲いておりませんでした。この頃は関東では横浜までは咲いていましたが、東京まではまだ咲

いていませんでした。

これが 1980 年ぐらいになりますと、開花地点がぐっと増えてきます。近畿地方全域で、4 月 1 日には咲くようになりました。東京から北関東の方まで桜前線が入ってきています。これが 1990 年代になりますともう少し北上し、2000 年ごろになりますと北陸の方までぐっと入ってきます。関東一円はほぼ全域 4 月 1 日には咲いています。最近では桜の花は大体卒業式ぐらいに咲いているというイメージがあるということで、これだけ桜の咲き方も変わってきたということが言えるのではないのでしょうか。

このようにこれまでいろいろなことが起こってきました。確かにどうやら地球なり我々の周りの環境というのはここ数十年でかなり気温が上がってきている。それから雨の降り方も変わってきているらしいということを今まで申し上げました。

(スライド 19)その一方、温室効果ガスがどのように変化しているのかということをお話します。これは温室効果ガス濃度の変化です。これは IPCC の報告書からの引用ですが、工業化が始まる、今から 250 年ぐらい前の 1750 年ころを温暖化を議論するときの起点に考えることが多いです。南極などの氷床コアに含まれている小さい気泡から二酸化炭素の濃度を調べる技術がありまして、その方法を基に作成したのがこの図(中心)です。過去 1 万年前から工業化までは二酸化炭素の濃度 260~280ppm ぐらいのところをずっと変動していますが、以降は急上昇します。

二酸化炭素濃度の 1983 年以降の状況をもう少し細かく見てみますと、今は大体年に 1.9ppm 程度ずつ確実に増えつつあります。人為起源でできる温室効果ガスとして、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素という 3 つの代表的なものがありますけれども、それらの濃度は工業化以前の値よりもはるかにぐっと上がっています。メタンについても、過去 1 万年はゆっ

くり変動しているものが、最近では急激な増加を示しています。

この図は WMO (世界気象機関)の温室効果ガス世界資料センターを引き受けている気象庁が世界中の観測データをとりまとめて作成した資料です。

IPCC によりますと、大体二酸化炭素の増加分の多くは化石燃料である石炭や石油を使ったことと土地利用の変化、つまり木を切って二酸化炭素を吸収する力を落としてしまうことによるものが多いだろうと言われております。こういった人間活動によって出ていくもの、人為的排出と言っていますが、その約半分が大気中にとどまってこういった増加をしていると言われております。

それからメタンあるいは一酸化二窒素については、これは農業の影響が大きいだろうと言われております。これはどういうことかという、メタンは微生物の働きによって発生します。例えば田んぼに水を張っておくと、その下の泥の中は酸欠状態になります。そこで微生物が呼吸をすると二酸化炭素のかわりにメタンが出る。あるいはヒツジなどの反芻動物は、バクテリアの力でセルロースを分解するわけです。そのときにメタンが出る。よくウシやヒツジのげっぷでメタンが出るというのはそういうことです。

それから一酸化二窒素、これは麻酔に使われるいわゆる笑気ガスですね、これは窒素肥料をたくさん使ったことが影響していると言われております。こういったいろいろな人間活動で温室効果ガスというのは着々と増えているということが言えます。

少し細かい話になりますが、この青い線が細かくぎざぎざしています。これがどういうことかということをお話しします。

(スライド 20)これは 1980 年代の始めから、二酸化炭素濃度が世界中で増加している様子を地図の形で出したものです。これはまさに二酸化炭素濃度が少しずつ世界中に増えてきて

いる。この図は日本を中心とした北半球、こちらの図はオーストラリアを中心にして南半球が見えるようにしたのですが、こういうふうになんてだんだん増加している。これはまさに化石燃料、石炭や石油を使うことで、地面の中に入っている炭素を地上に出して、大気中に出しているわけです。それが海とか植物、森が吸収してくれているものを上回っていると、だんだん濃度が増えてきているわけです。

ご覧いただきますと、同時に見ると北半球の方が南半球の方よりも早め早めに色が濃くなっているのがわかります。北半球の方が南半球よりも濃度が高くなります。これはやはり二酸化炭素を多く出す国が北半球に集中しているということの 1 つのあらわれだろうと考えております。

(スライド 21)先ほどのぎざぎざの話ですが、二酸化炭素濃度は、季節ごとの変動が結構大きいです。これは 12 月です。1 月から 5 月、6 月、このあたりになると少し色が薄くなります。冬は濃いですが夏場は特にシベリアを中心に薄くなります。これはまさに夏は植物の活動が活発で、どんどん二酸化炭素を吸収してくれることもあって濃度が低くなると考えられます。植物の多い大陸の方が変動が大きく、海はそれに比べると変動は緩やかです。

それから地球が回っている方の図(右)を見ますと、南半球の方が変動は小さいです。海が多いところは変動も小さいということがわかります。このようにいろんな技術を使いまして、いくつかの点で観測した結果を世界的な濃度分布に置き換えるような仕事も気象庁で行っておりまして、その結果をご紹介しました。

(スライド 22)次にこれは、人間活動で出て行く二酸化炭素の排出量がどのぐらい増えているかということを示した図です。これはアメリカのある研究所が各国の二酸化炭素の排出量をずっと推定しています。それを見てもみますと、1900 年の数字に比べると、最新の 2005 年の排

出量は 15 倍。戦後は各国も成長をとげていますが、例えばアメリカあたりが非常に多いわけです。昔は半分ぐらいアメリカが出していましたが、最近では他の国も増えてきています。2005 年の国別排出割合は、アメリカが全体の 22% ぐらい、2 番目が中国で 19%、ロシアが 5.8% で、日本が第 4 位になります。それからインド、ドイツと続いています。10 位までで世界全体の約 67% を出しております。世界の国は大体 190 ぐらいありますから残りの 180 カ国はその他の 33.5% に全部入ってくるということになります。

我が国は世界第 4 位ということですが、日本をインドが追い越して日本は第 5 位に転落したという報道もされたことがあります。インド、中国、こういった開発途上国で経済活動が活発なところが最近非常に急速に伸びてきているというのがこういったグラフを見てもわかっていただけたと思います。

今日は京都大学の松岡先生からこれからの対策、削減をするためにどうしたらいいかというお話がいただけると聞いていますけれども、こういったいろいろな問題、たとえばこの中に京都議定書の削減義務がかかっているのは一体何カ国あるのかといったお話から始まるのかなと思います。その中で日本はどういうふうにしたらいいかといった話になりますが、それは私の守備範囲を越えますので、こういうことになっているということを申し上げておきたいと思います。

(スライド 23)次に日本の中ではどの部門が排出しているのかということをお話しします。これは 2007 年の日本の部門別二酸化炭素排出量です。大体 36% は産業部門、民生（家庭）部門から約 13.8%、事務所などの商業、サービス部門から 18%、自動車とか船舶等の運輸部門から 19% ぐらいということ。これを人口で割りますと、国民 1 人あたり年間約 10.5 トン、1 日あたり 1 人 29kg 出しているという

勘定になります。

(スライド 24)今度はご家庭での排出量ほどのぐらいというのを見てみます。ご家庭 1 世帯あたりの排出量は年間 5.4 トンということになります。その内訳を見てみますと、一番多いのは電気を使って出る分で 42% になります。これはもちろん電気を使うとその分その先にある発電所から出るものをカウントしています。それから車の使用に伴って、ガソリンから 27.2% ということになります。用途別に見てみますと、一番大きいのは照明あるいは家電から約 3 分の 1 です。次が自動車からで 3 割弱ということになります。冷房とか空調は意外に小さくて、2% ぐらいですね。

この 1 世帯あたりの排出量を 1 人あたりに直しますと、世帯平均人数が今 2 人をちょっと超えるぐらいですので、年間約 2.2 トン、1 人あたり 1 日 6kg、これが生活の中で皆さんが出している数字ということになります。

<<実演>>(スライド 25)今の 6kg という数字ですが、皆さんどうでしょう。イメージとしてわかりますでしょうか。1kg の二酸化炭素ほどのぐらいの嵩になると思われますか。



会場：「気体ですか？」

気体です。

会場：「すごく大きいと思います。」

ありがとうございます。ピンと来ないですね。どう思われますか。

会場：「イメージできないですね。」

イメージできない。ありがとうございます。そう言っていただくとこの先大変話が進めやすくなります。

確かに今 1 人あたり何 kg と言いましたけれども、これは全然イメージできないです。1kg の二酸化炭素の体積がイメージできないので、ヒントを出します。4 択です。まず 1、牛乳パック 10 個、大体 10L。2、一斗缶 3 個ぐらい。一斗缶は 20L だから 60L くらい。いやいやドラム缶 3 本ぐらい。ドラム缶 200L としましてざっと 600L。いや 6 畳間 1 間、大ざっぱな計算ですが 22,000L。

1 番だと思われる方、なし。2 番だと思われる方、自信なさそうに手が挙がりました。3 番だと思われる方、ぱらぱら挙がりました。4 番だと思われる方、4 番が一番多い。何回かやっているんですが、皆さん大変標準的な集団でございます。4 番とお答えになる方が非常に多いですね。最初にこの問題を作ったときに、私の妻に出しました。妻も 4 番。「だって軽いでしょう」って、よくわからないんですけど軽いからきっとでかいだろうと思いますね。これを実験で確かめてみようと思います。こういうものを出してきました。この中にぎゅうぎゅうに詰めた二酸化炭素が入っています。これをいっぱいに出すと一体どのぐらいになるのかというのを見てみます。何グラムあるか読んでいただけますか。

会場：「74g。」

ありがとうございます。これは液化した炭酸ガスで熱帯魚屋さんで売っています。これで 74g、これを全部出すと一体どのぐらいの量になるのかというのをやってみます。はい始めました。



こうやって出て行くのを待つんですが、今私は片手に軍手をはめました。なぜかおわかりになりますか。これは一気に中の液化した炭酸ガスが膨張しますので、熱を奪います。夏などはボンベに真っ白に霜がつきます。手が凍傷になるのでいつも軍手をさせていただくんですが、前にやりましたときは、出きったボンベを振ると中からから音がするんです。多分中でドライアイスになっているんだろうと思います。このポリ袋ですが、100 均で買いました衣類の圧縮袋です。

先ほど 74g の二酸化炭素、これだけになります。これは実は 40L です。ということで正解は、1kg の二酸化炭素はドラム缶約 2.7 個、540L です。ということで皆さん 2、3 人にお伺いしただけでもなかなか自分で何 kg とか何%とか言うんですが、イメージがわからないのでこういうデモンストレーションをさせていただきました。

先ほどお話ししましたように、1 世帯あたり 1 日 15kg 出ます、1 日 1 世帯ドラム缶 40 本出ているんです。それから 1 人あたり 6kg 出ているからドラム缶 16 本分です。それからガソリン 1L を燃やすと 2.4kg 二酸化炭素が出ます。そうするとドラム缶 6.6 本、1L 使うたびに 6.6 本ずつということになります。このぐらいのことになるということをお話として持っていたいただければと思います<<実演終了>>。

このように、まず世界の気候というのはだんだん暖かくなっているんだということをお話ししました。それから 2 番目に、確かに我々の人間活動で二酸化炭素はどんどん出ている。そのおかげで二酸化炭素濃度も増えているということをお話ししました。じゃあこの 2 つを本当につなげていいものかどうかということをお話しさせていただきます。

(スライド 26)これが IPCC の第 4 次評価報告書の結果ですが、過去数十年の温暖化は人間活動に起因している可能性が非常に高いという

ことを言っています。これは一体どんな根拠でいえるのかということですが、これは要は地球の温暖化なり何なりをコンピュータで再現する技術があります。それで過去の地球の気候変動がどのぐらいきちんと再現できるのかということの評価した結果です。

ここに太い水色の帯とピンク色の帯があります。真ん中に黒い線が入ります。この黒い線が実際の観測結果です。水色のもの、これは気候の変動を及ぼすようないろんな要因の中で自然要因、例えば太陽活動の変化だとか火山が噴火して非常に細かい塵を大気中にまき散らした効果を入れたものの、人間活動による温室効果ガスの変化は入れない場合。それでピンク色の方、今の自然活動に加えて人間活動の両方を入れたものです。左下のこれが世界平均気温の再現実験の結果ですが、黒い線を水色の帯に沿わすことはできませんが、ピンク色の人間活動を入れるときちっと沿います。しかもこれは世界全体だけではなくて、アジアやヨーロッパやアメリカやアフリカ、世界全体どこでも大陸規模では同じ結果になるということがわかりました。

こういったシミュレーションの比較をすることで、人間起源の温室効果ガスの増加が過去50年程度ですね、特に戦後ぐらいの平均気温の上昇をほとんどもたらした可能性が非常に高いという結論になりました。「非常に高い」というのは IPCC 用語では 90%以上の可能性ということになります。

過去の評価報告書の記述にさかのぼってみますと、第1次報告書は「気温は上昇しているけれども自然要因によっているかもしれない」と非常に自信のない言い方でした。第2次報告書になりますと、「人為的な影響が地球全体の気候にあらわれていることが示唆される」。第3次報告書になると「温室効果ガス濃度の増加によるものであった可能性が高い」、可能性が高いというのは 66%の可能性ということにな

ります。

今回「非常に高い」という見方になりました。非常に高いは可能性 90%と申しましたが、可能性 99%、「ほぼ確実」というもう1つ上の言い方があります。IPCC が最後に文言を決めた場所に私はおりました。パリでやっていたんですが、このときにもう1つ上の「ほぼ確実」でもいいんじゃないかということを行った方がいらっしやいました。しかしまだいろいろわかっていないことも多いので、もう少し先の評価を待ちましようということで、この「非常に高い」に落ち着いたという経緯がございます。

このように、温度が上がっていて二酸化炭素が増えているからこれが温暖化の原因だと、そんな簡単なことを言ってやっているわけではありません。いろいろな不確実なことも評価しながら、その中で今言える一番確かなところはここですということを示したというのが IPCC の非常に大きな仕事になったわけです。

このように今までずっとお話ししてきましたのは、「地球温暖化のこれまでとこれから」の中のこれまでのところですね。今お話ししたこと全部過去の話です。ところが皆さんこの先どうなるのというのは大変知りたい訳ですね。

もちろん普通の興味というよりもこれから先どんな対策をとればいいのか。まさに今日のシンポジウムのコアになる場所ですね。これから我々は例えば琵琶湖の水をちゃんと使っていくためにどんなことができるのかということを知るためには、これから先どうなるんだろうかという見通しが必要です。そのような見通しを得るためにどんなことをしているのかという話をさせていただきます。

(スライド 27)このスライドに気候モデルを用いた地球温暖化予測という題名をつけました。気候モデル、皆さんイメージわかりますでしょうか。モデルと聞いて何を思われますか。会場：「コンピュータモデルを思います。」

いきなりコンピュータモデルが出てきました。

気象台の関係の方？そういうわけでない。いかがでしょう。

会場：「1つの枠組みみたいな。」

枠組み、具体的なもので、モデルと聞いてはっと皆さんが何か思い浮かべませんか？広辞苑によりますとモデルという言葉が入っている言葉として、ファッションモデル、それからプラモデル、モデルハウス、モデルガンがでてきます。

じゃあモデルの中で共通するものは何でしょう。要するに何か実物に似せた模型ということですね。ファッションモデルの方を模型と言うと大変失礼なんです、要は理想的な人体を維持していらっしゃる方々だということだと思います。じゃあ気候モデルというのは何だということですが、気候モデルは大気や海や陸でいろいろなことが起きている。これをコンピュータの中に再現した、要は小さな地球の模型をコンピュータ上に作ったものと思ってください。

こういう模型ですけれども、もちろん全く同じものをコンピュータで作るわけにはいきません。実際は膨大なプログラムとか計算の手順の山です。例えばつくば市にある気象研究所で全球気候モデルというのを開発しています。気候モデルでは、地球全部をぼつんぼつんと点々でおおって予測しています。この点々の格子間隔が大体 280km です。京都から 280km という、富士山あたりになります。ここの計算をすると次は富士山の周辺の計算をする、そのぐらいに思って下さい。それから鉛直方向には、地球の上成層圏まで 30 層に分けます。その中で雲がわいたり雨が降る、海が冷たくなると氷ができる、温室効果ガスによって太陽から入ってくる光や出て行く赤外線構成が変わるといったような計算を、できるだけいろいろな要素について行っているのが気候モデルということになります。

ただ、これだけだと天気予報をやっている技

術と基本は全く同じです。地球温暖化予測のために気候モデルを使うためには、もう 1 つ必要なものがあります。それはこれから先の社会のあり方に応じて、二酸化炭素の排出量や濃度の変化等に関する想定（シナリオ）です。

世界中で多くの研究者が気候モデルを作っていますが、それぞれ違ったシナリオで予測すると結果の比較ができなくなりますので、IPCC が作る標準的なシナリオのもとで、それぞれの気候モデルを使って予測を行います。そうすると、それぞれのシナリオに応じた地球の平均気温についての予測結果がたくさんできます。それぞれのモデルのでき/ふできを勘定しながら、予測の一番確からしいところをまとめて将来の気候変動を予測するという手順になります。

(スライド 28)シナリオは、今後の社会や経済に応じた排出量の想定ですが、環境省で、A2 シナリオや B1 シナリオでは日本はどんなふうなものになるだろうということをまとめられたものがあります。それを見ますと A2 シナリオは割と現在の延長線上に近い想定となっています。出生率が低めで地方への公共投資が活発。ライフスタイルは今と同様。それから交通は自動車を中心に電源構成は原子力中心ということで、A2 シナリオは現状をずっと進めていったようなイメージです。

もう 1 つの B1 シナリオはもう少しエコなシナリオです。これは非常に技術革新が進む。出生率の低下はおさまる。女性や高齢者がしっかり社会進出を果たす。それから交通は LRT やモノレールを使う。それからエネルギー源として燃料電池とか天然ガスを使う社会になるだろうというようにわかりやすくまとめていただいています。

(スライド 29)これからお見せするのは、先ほどのいくつかのシナリオに応じて出した世界の気温の予測結果です。まずこの下の方、茶色い帯があります。これは過去約 1,300 年間の北

半球の平均気温がどのくらい変化してきたかというのを推定したものです。これは木の年輪などの情報から集めたものです。たくさんの研究結果を集めて、その中の一番確からしいところを色を濃くしているのです、このような太い帯になります、ここが今の平均気温だとして、大体それから - 0.2℃ぐらい、小氷期に相当するようなものが出てきたりというようなジグザグはありますが、大体このぐらいでおさまっています。

ここに色の違うグラフがあります。これは温度計を使った客観的な観測ができるようになってからの世界の平均気温です。ですからこの帯の太さがぐっと細くなりました。先ほど言いましたように、この 100 年ぐらいでぐっと上昇を続けているということがわかります。

じゃあこれから先どうなるかと。ここから先は先ほどの気候モデルを使った予測になります。これはこちらのグラフと同じ時間スケール、上下の温度のスケールにしてあります。いくつか代表的なシナリオのもとでの予測を持ってきましたが、一番高い経済成長、たくさん出るシナリオでは最大 6.4℃まで行くと見ております。一方一番小さいシナリオでも上昇量は 1.1～1.9℃くらいになるということで、過去 1300 年間このぐらいに収まったものが、今後 100 年で少なくともここまで来る可能性があるという、非常に衝撃的な予測になるわけです。

もう少し細かく見ますと、1 つは場所によって温度の上がり方が違います。今日はお話ししませんでしたけれども、これまでの過去の気温の上昇を見ましても、世界で一様にどこもかしこも 100 年間で 0.7℃ずつ上がっているわけではないです。あまり上がっていないところもありますし、場所によってはわずかながら気温が下がっているところもあります。シベリアなどの北半球高緯度の陸地が一番温度が上がります。それから南極の周り、北大西洋、こういったところは海の水が深層に沈んでいるところ

であり気温が上がりにません。場所によってずいぶん違うということです。

それから、今後 20 年間はシナリオによらず大体 10 年あたり 0.2℃上昇すると予測されています。ですから、どのシナリオでも最初の方は違いがない。違いが出るのはその後ということで、これは言い方を変えるとどんなに頑張っても当面我々は温暖化を止めることはできないということになります。

(スライド 30)次に雨の降り方の予測を見てみます。高緯度の地域で増加する可能性が非常に高いです。それから亜熱帯、例えばサハラ砂漠の周辺からアフリカ、アジアでは減少する可能性が高いと予測されています。

先ほどの、これまでの降水量の変化の図と見比べますと、これまで増えてきたところはやはりますます増え、減ってきたところはこれから先もやはり減ると予測されています。ということで、水資源の格差が地域によって大きくなるということが懸念されるわけです。

それから積雪域、雪の量、北極域の海氷が減少すると予測しています。これは先ほど申し上げたとおりです。

(スライド 31)これから先の海面水位の予測です。海の水が膨張したことで過去の上昇量の大体 6 割ぐらいが説明されています。残りは氷河の氷が溶けたことと、グリーンランドと南極の氷床が減少していることが一定の寄与をしている。よく氷床が崩れてこれは大変だとよくテレビで見ますが、あれは新陳代謝みたいなもので、落ちているから怖いわけではありません。氷床が流れるスピードがどう変化しているかというのが気になるところです。人工衛星による氷床の厚みの監視が続いていますが、これは長い目で見ていかなければいけません。

今世紀末の海面水位が上昇する予測ですが世界平均で最大 59cm、最低で 18cm。これは第 3 次評価報告書に比べてずいぶん下方修正になりました。地域的に見ますと、日本の周りは

世界平均よりも上昇率が高めに出る傾向がありますので、このあたりどうなるかというのは見ていかなければいけません。

それからここに小さな字で言い訳のように、予測にはグリーンランド及び南極氷床の急速な変化の寄与は含まないと書いてあります。これはどういうことかと言いますと、先ほどの氷が崩れる絵ですね。あれは一定の氷の流れがあるわけですが、流れとはいえその下にある岩とこすれながら少しずつ氷河が流れているわけです。ところが気温が上昇してきたりするとその摩擦が弱くなる、いわばつかえがはずれるような形で一気に氷床が海に押し出されるんじゃないかということ懸念する人もあります。

滑り台に子供が座って手をつっぱると落ちません。あれがぱっと手が離れてしまう、そうするとしゅっと滑り下ります。イメージ的にそういったものは、今のモデルではとても予測できません。地震がいつ起きるかを予測するようなもので、これは大変難しいのでそれは入っていません。ですからそういうのがもし入ると海面水位が急激に上昇する可能性があります、それはいつ起きるか、果たして本当に起きるのか、起きたらどのぐらいのものなのかということは予測ができていません。

(スライド 32)ここまでは世界全体ですが、日本の予測はどうなのかということをお話ししていきます。これは A2 シナリオに基づいた、今世紀末の我が国の気候予測です。平均気温は全体で2、3℃程度の上昇が予測されています。また、年降水量は特に西日本を中心に増加する傾向があるでしょう。それから雪の量は減るでしょう。それから極端な現象ということで真夏日や熱帯夜も現在より増加するだろうと予測されていて、大阪でも真夏日は年間10日～20日ぐらい、熱帯夜は現在より15～20日ぐらい増えるだろうと、ちょっと憂うつな予測結果になっております。それから大雨の出現日数も年

間+1日ぐらいは増えるだろうという予測結果になっております。

気象庁といたしましても、できるだけ細かい日本の状況にあてはめただけ細かい予測を行うプロジェクトを続けております。また新しい情報ができたらお話できる機会があると思います。

(スライド 33)それから熱帯低気圧の予測です。先ほど大きな台風の年間発生数に明確な傾向はないが、北大西洋では強い熱帯低気圧の強度が増加していると申しました。

今後の見通しですが、これは日本の研究者が大変活躍した分野です。横浜に地球シミュレータという極めて大きな計算機センターがあって、ここで気象庁も含めていろいろな研究グループが気候変動予測を行いました、これが1つの結果です。現在は世界でこのぐらい熱帯低気圧ができています。これは計算機での再現結果を持ってきたものですが、それが熱帯での海水温が高くなるとどのようになるかをみたものです。そうしますと現在の中心付近の最大風速は青い線の分布になるのが、温暖化が進むと赤線のような分布になり、比較的弱い熱帯低気圧は現在より減るかわり、強いものが少し増えてくるということになります。発生数につきましては世界全体でこの A1B のシナリオでは約28%減、北西大西洋に限りますと約38%減ということで、台風の発生数自体は減るものの、発生すると強いものになるという予測になっています。

温暖化が進むと、小さい台風がたくさんできるのか数少ない大きい台風が来るのか、これはいろいろな説があったのですが、地球シミュレータを使った非常に詳細な研究でこういう予測ができた。これは世界でも誇れる結果であろうと思います。

(スライド 34)これまで地球温暖化が、これからこのようになっていきますよという、自然科学のお話しをしてきましたが、これが我々の社

会にどんな影響をもたらすだろうかということも IPCC ではまとめております。まず何といっても生態系にダメージがあります。例えば海の温度が上がるとサンゴが死滅してしまう。それから世界平均気温が 1.5~2.5℃の上昇で動物や植物の約 20%~30%の絶滅リスクがあると予測されており、大変衝撃的なことだと思います。それから気温あるいは海面水位の上昇によって国土の喪失あるいは社会基盤の損失が予測されています。よく南の島が沈むという言い方をしますが、さすがに島が沈みますとは書いてありません。むしろ洪水や高潮の被害が非常に大きくなるだろうという言い方になっています。

一番脆弱なのはアジアやアフリカのいわゆるメガデルタ。皆さん思い浮かぶのはバングラデシュなどが非常に危険だと予測されていますが、日本でも 0m 地帯にたくさんの方が住んでいます。こういったところがこれまで以上の激しい現象に襲われれば非常に危ないことになるということが言えます。

それから雨の降り方の変化で、水資源の分布あるいは農業適地が変化していくと予測されています。先ほど、近畿地方でも少雨の頻度が増えていますと申しましたが、干ばつの影響を受けるようなところが増える一方で、洪水のリスクも増えているということです。どさっと降るか全然ないかというのは困ったものですね。それから農業の適地適作が難しくなってくるということで、食糧生産高も、気温の上昇がある一定限度を越えてくると減少してくるだろうということがございます。

温暖化の議論をする方の中で、暖かいのはいいことじゃないかと言う方もいらっしゃいます。確かにはじめのうちは農業の生産などでプラスに働くということもございます。地域によっては、コストベネフィットで見ると便益の方が上回るという、少し得をする人もいるということもある。ただしそれを越えるとすべてのと

ころでコストが増加してみんな損をするということになります。IPCC の報告書の中では適応策はまだ不十分で、いろいろな影響に対する備えをしっかりとやっていく必要がある。ただし影響に対する適応だけでは今後とても対処しきれなくなる。間尺が合わなくなってきました。適応策に加えて二酸化炭素を削減する緩和策を組み合わせることで気候変動に伴うリスクを減らすことができるということです。

(スライド 35)さきほど緩和策と適応策という言い方が出てまいりました。緩和策というのは温室効果ガスを減らして地球温暖化を原因から断つ対策です。そのために京都議定書が決められましたし、今後 50 年でどうする、あるいは 2020 年までにどのぐらい減らすといった議論がされているわけです。これについては松岡先生からお話があると思います。

それからもう 1 つ適応策、これは先ほど言いましたように、今後しばらくは温暖化はどうやっても止まらない。そうであれば温暖化した社会の中で我々はどうやって生きていけばいいだろうかということを考えるということです。よく教科書に出てくるのは、海面水位が上昇したときにどんな適応策があるだろうかということです。海辺の家は危ないから高いところに逃げましょうという撤退策。それから場所は変わらないけれども建物自体のかさを上げよう、あるいは保険に入ろう、という順応策。それからしっかりと囲いを、堤防を高くする防護策が考えられます。

農業分野では既に、気候変動で高温が頻繁に起こることでお米の品質が悪くなる、高温障害というのが出ております。これに適応するため最近では、高温障害に強い稲を作ることが進んでいます。例えば長崎県は「にこまる」というブランドで奨励品種が出ています。温暖化が進んだときにも安定した食糧生産、供給ができるようにということでもいろいろなことが考えられております。

(スライド 36)これが最後の 1 枚ですが、「未来は私たちが変えられる」と題しました。これは先ほどの飛び上がったような気温の予測の図を横に引っぱったものです。これは A2 シナリオのときの世界の温度変化の図です。これは 2090 年には今より 3.4℃上がりますということです。こちらは B1 シナリオでもっとエコなシナリオでの予測です。こちらは平均すると 1.8℃ぐらいの上昇でおさまりそうです。

先ほどのお話のように最初の 20 年ぐらいはほとんど変化がありません。変化が出るのはその先です。ですが、我々がどちらのシナリオ、どちらの社会を選ぶかによって、例えば 1.5℃上昇するような時期が 15 年違うんですね。このころには現在中学生、高校生ぐらいの子供が私ぐらいの年代になっています。排出量の小さなシナリオを選ぶことで、そのころの人たちに対処するための時間を 15 年渡してあげることができます。

これは我々気象台が出している天気予報とは全く違います。今後の我々の選択次第で答え

が変わってきます。ということで、未来は私たちが変えられるというふうに申し上げておきます。そういうことで、温暖化を食い止めるためのいろいろな緩和策と、温暖化に適応していくための努力がともに求められているということで、私からのお話とさせていただきます。長い間お聞きいただきまして、どうもありがとうございました。



『地球温暖化のこれまでとこれから』



スライドー1

自然に気候は変動している

- 約6000年前をピークに、現在より1~2℃気温が高く、大阪湾の海面水位は現在より高かった。

さまざまな自然要因により、地球の気候は大きく変動してきた。

人間活動に伴い、急激な気候変動が起きつつある。
→ 地球温暖化

約6000年前の海岸線
観山・市原(1985)より
地球温暖化による気候変動の水理地への影響(2)第

スライドー2 ①6000 年前

自然に気候は変動している

- 約6000年前をピークに、現在より1~2℃気温が高く、大阪湾の海面水位は現在より高かった。

さまざまな自然要因により、地球の気候は大きく変動してきた。

人間活動に伴い、急激な気候変動が起きつつある。
→ 地球温暖化

約4000年前の海岸線
観山・市原(1985)より
地球温暖化による気候変動の水理地への影響(2)第

スライドー2 ②4000 年前

自然に気候は変動している

- 約6000年前をピークに、現在より1~2℃気温が高く、大阪湾の海面水位は現在より高かった。

さまざまな自然要因により、地球の気候は大きく変動してきた。

人間活動に伴い、急激な気候変動が起きつつある。
→ 地球温暖化

約2000年前の海岸線
観山・市原(1985)より
地球温暖化による気候変動の水理地への影響(2)第

スライドー2 ③2000 年前

自然に気候は変動している

- 約6000年前をピークに、現在より1~2℃気温が高く、大阪湾の海面水位は現在より高かった。

さまざまな自然要因により、地球の気候は大きく変動してきた。

人間活動に伴い、急激な気候変動が起きつつある。
→ 地球温暖化

約1600年前の海岸線
観山・市原(1985)より
地球温暖化による気候変動の水理地への影響(2)第

スライドー2 ④1600 年前

自然に気候は変動している

- 約6000年前をピークに、現在より1~2℃気温が高く、大阪湾の海面水位は現在より高かった。

さまざまな自然要因により、地球の気候は大きく変動してきた。

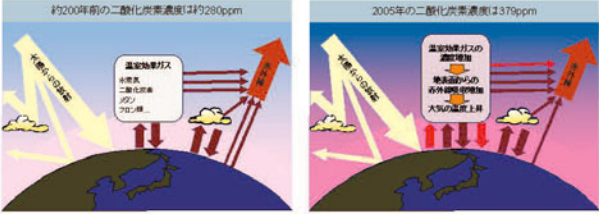
人間活動に伴い、急激な気候変動が起きつつある。
→ 地球温暖化

約1100年前の海岸線
観山・市原(1985)より
地球温暖化による気候変動の水理地への影響(2)第

スライドー2 ⑤1100 年前

『地球温暖化のこれまでとこれから』


地球温暖化のしくみ



- 太陽光の約69%を大気・地表で吸収。
- 吸収された太陽エネルギーと同じ量の赤外線が宇宙空間に出て行く。
- 地表から出て行く赤外線を温室効果ガスや雲が吸収して下向きに戻す→温室効果
- 地球の平均気温を約14℃に保ってくれる(温室効果がなければ-19℃)。
- 温室効果が強まりすぎて、地球の気温が上昇。→地球温暖化

スライドー3

1896年 アレニウスの試算



アレニウス(S. A. Arrhenius) (1859-1927)

スウェーデンの物理学者・化学者
電解質の解離の理論に関する業績で
1903年ノーベル化学賞を受賞

1896年:「大気中の炭酸が地上気温に及ぼす影響について」

- 人間活動による二酸化炭素の増大が地球の温暖化をもたらす
- 大気中の二酸化炭素が倍増した場合、全球の平均気温が5~6℃上昇する

最新の知見では約3℃

太陽活動や火山活動など、他の要因と比較した時の温室効果ガスの重要性が認識されたのは1980年代以降。

スライドー4

1932年 宮沢賢治の小説



宮沢賢治 (1896-1933)

明治29年花巻生まれ。童話作家、教育者、農業者。
昭和8年没(37歳)。
代表作:「雨ニモマケズ」、「風の又三郎」、「銀河鉄道の夜」

1932年:「グスコブドリの伝記」

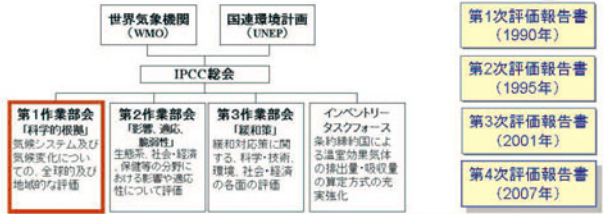
ブドリ: 先生、気層のなかに炭酸瓦斯(ガス)が増えてくれば暖かくなるのですか。
クパー博士: それはなるだろう。地球ができてから今までの気温は、大抵空気中の炭酸瓦斯の量できまっていたといわれてるくらいだからね。
ブドリ: カルボナード火山島が、いま爆発したら、この気候をかえるくらいの炭酸ガスを噴くでしょうか。
クパー博士: それは僕も計算した。あれがいま爆発すれば、ガスはすぐ大循環の上層の風にまじって地球全体を包むだろう。そして、下層の空気や地表からの熱の放散を防ぎ、地球全体で平均五度くらい暖かくなるだろう。

スライドー5

気候変動に関する政府間パネル Intergovernmental Panel on Climate Change

目的: 人為起源による気候変化、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行う。

1988年に世界気象機関(WMO)と国連環境計画(UNEP)により設立。



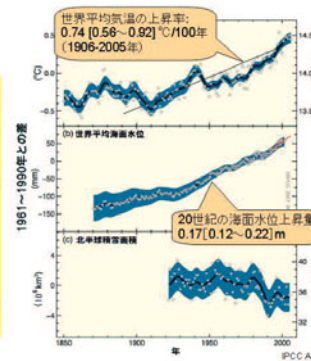
- IPCCの評価報告書: 世界の専門家の査読に加えて政府の意見も受けて作成。
- 気候変動枠組条約(UNFCCC)等、地球温暖化対策の国際的な取り組みに科学的根拠を提供。
- 2007年のノーベル平和賞を受賞

スライドー6

気候システムの温暖化には疑う余地がない

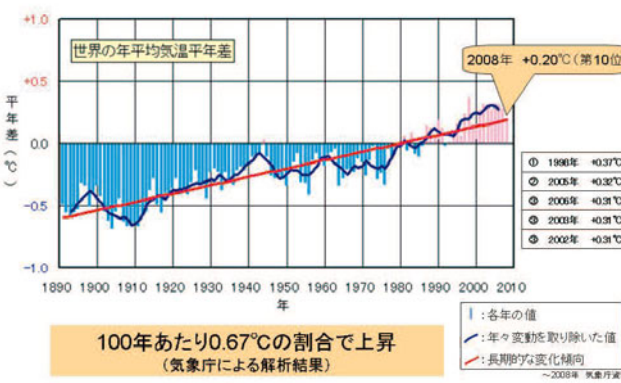
- 大気や海洋の世界平均温度の上昇
- 雪氷の広範囲にわたる融解
- 世界平均海面水位上昇

- 最近12年のうちの11年の世界の地上気温は、1850年以降で最も温暖な12年の中に入る。
- 最近50年間の昇温傾向: 過去100年の傾向のほぼ2倍。
- 全海洋が気候システムに加えられた熱の80%以上を吸収し、海水温と海面水位が上昇。
- 山岳氷河と雪氷域は平均すると後退。
- グリーンランド氷床と南極氷床の一部の流出速度が増加。
- ヒートアイランド現象の効果は局地的、トレンドには影響なし。



スライドー7

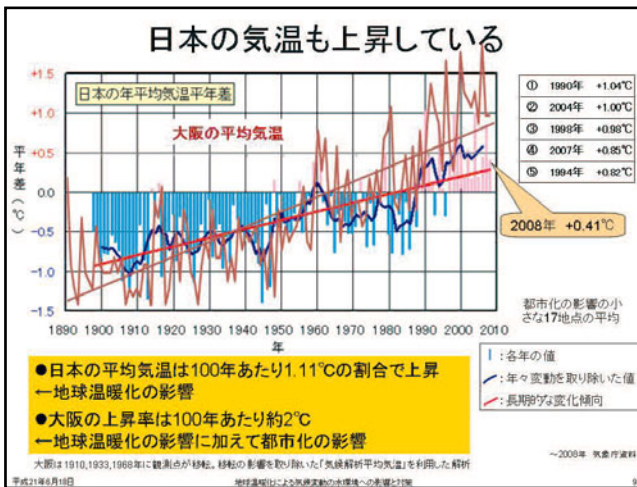
世界の年平均気温の変化(1891~2008年)



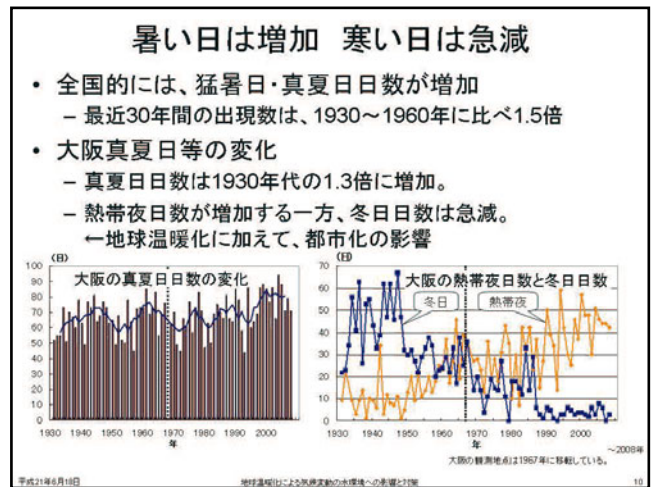
100年あたり0.67℃の割合で上昇
(気象庁による解析結果)

スライドー8

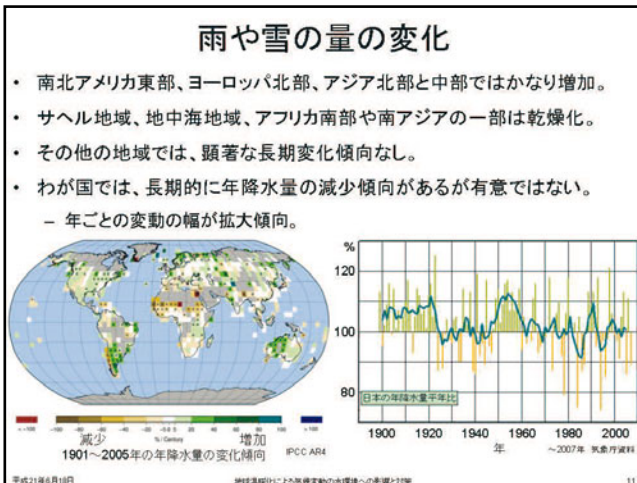
『地球温暖化のこれまでとこれから』



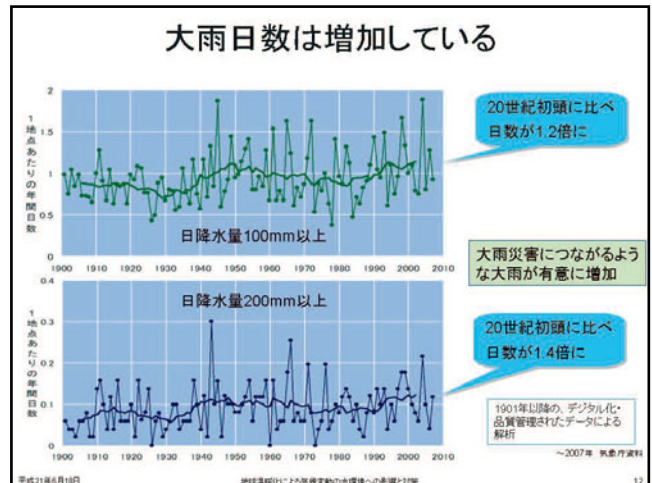
スライドー9



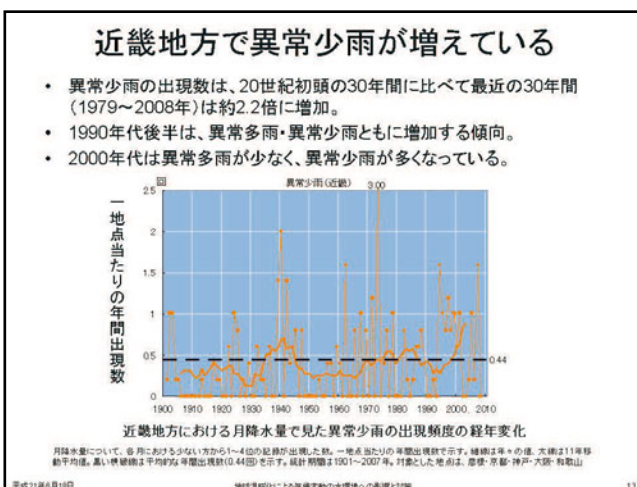
スライドー10



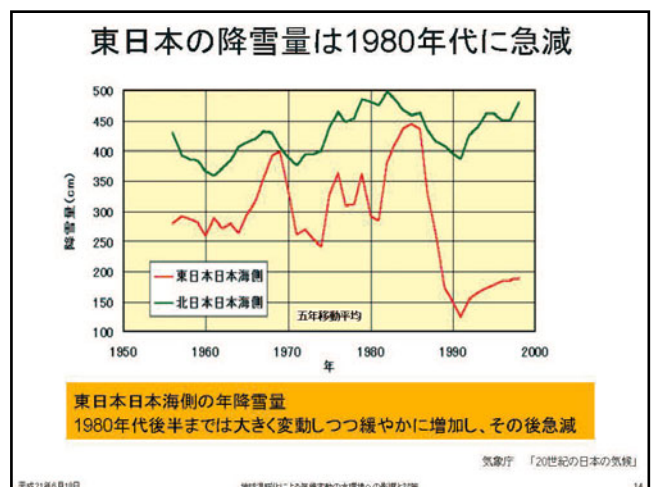
スライドー11



スライドー12



スライドー13

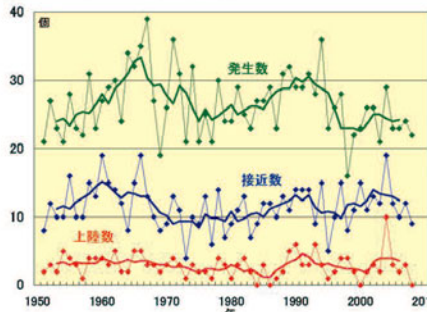


スライドー14

『地球温暖化のこれまでとこれから』

台風の発生数には長期変化傾向はない

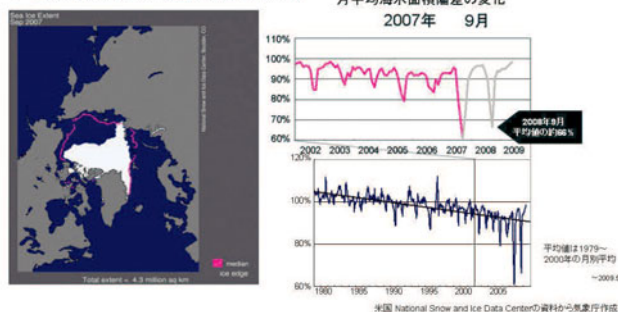
- 台風の発生数、接近数、上陸数に長期的な変化傾向はない。
- 20~30年規模の変動が卓越。
- 大西洋のハリケーンでも同じ傾向



スライドー15

北極海の海水面積は長期的に減少

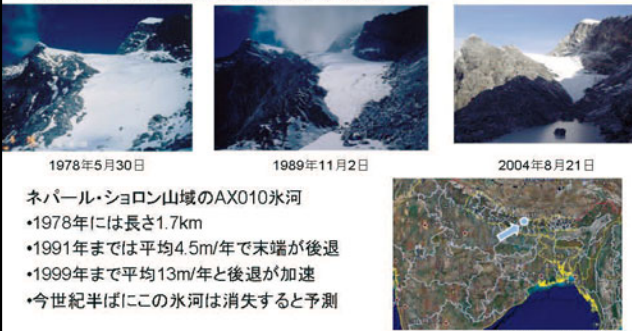
- 2007年8月から9月の北極海の海水面積は観測史上最小。
- 反射率が減少することで地球温暖化を加速(海水が融けても海面水位は上昇しない)。
- 北極海の晩夏の海水が21世紀後半までにほぼ完全に消滅との予測あり。
- 南極周辺の海水には大きな変化はなし。



スライドー16

山岳氷河も後退している

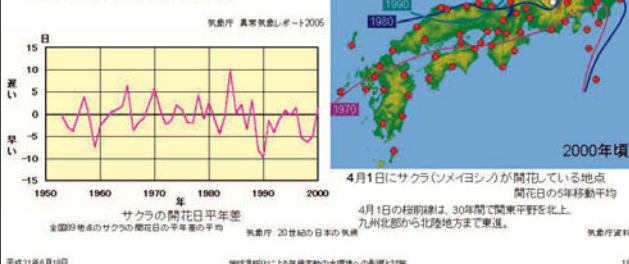
- 山岳氷河の融解が、海面水位上昇の主な要因の一つ。
- 下流で暮らす人々の貴重な水源が急速に減少。



スライドー17

サクラ前線の変化

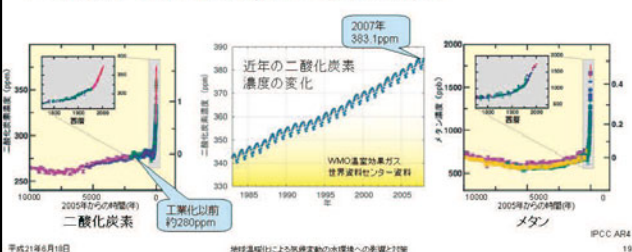
- 冬から春にかけての開花・発芽の時期が早まり、秋の紅葉・落葉は遅くなる傾向がみられる。
- サクラの開花には早春の気温が影響
- サクラの開花日は、全国平均すると50年間で4.2日早くなっている。
- 大都市の平均では、都市化の影響もあって、50年間で6.1日早くなっている。



スライドー18

温室効果ガス濃度は着々と増加

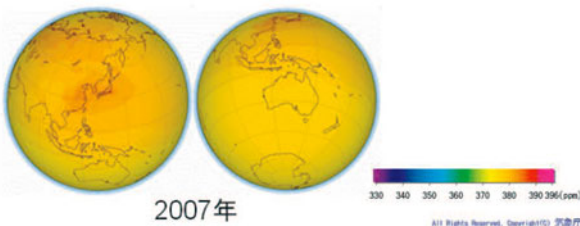
- 世界の二酸化炭素、メタン及び一酸化二窒素の大気中濃度 = 工業化以前の値をはるかに超えている。
- 二酸化炭素の増加 ← 化石燃料の使用、土地利用の変化による排出 人為的排出の約半分が大気中に留まる。
- メタン及び一酸化二窒素の増加 ← 農業による排出



スライドー19

二酸化炭素濃度は次第に増加している

- 二酸化炭素濃度は世界中で増加している。
 - 化石燃料の使用による増加が、海や植物による吸収を上回る。
- 北半球のほうが南半球よりも濃度が高い。
 - 二酸化炭素を多く排出する国はいずれも北半球に位置する。



スライドー20

『地球温暖化のこれまでとこれから』

二酸化炭素濃度は季節や地域によって変化

- 二酸化炭素濃度は季節ごとに変動を繰り返している。
 - 夏は植物による吸収が活発で、濃度が低くなる。
 - 植物の多い大陸のほうが、海よりも変動は大きい。
 - 陸地の多い北半球のほうが海の多い南半球より変動が大きい。

2006年 1月

平成21年6月18日 地球温暖化による気候変動の水準への影響(2) 21

スライドー21

人間活動による二酸化炭素排出も増加

世界の二酸化炭素排出量(億トン)

2005年の排出量は1900年頃の約15倍

2005年の二酸化炭素排出国別内訳

- 米国 22.0%
- 中国 19.0%
- インド 4.5%
- ドイツ 3.0%
- イタリヤ 1.7%
- 韓国 1.7%
- カナダ 2.0%
- 英国 2.8%
- 日本 4.7%
- ロシア 5.8%
- その他 33.0%

2005年の排出量 約266億トン

世界第10位までの国で全体の約67%を排出。わが国は世界第4位の排出国

中国・インドの排出量が急速に増加

平成21年6月18日 地球温暖化による気候変動の水準への影響(2) 22

スライドー22

日本の部門別二酸化炭素排出量

2007年 13億400万トン

- 産業部門(工場等) 36.1%
- 運輸部門(自動車・船舶等) 19.1%
- 民生(業務)部門(商業・サービス・事業所等) 18.1%
- 民生(家庭)部門 13.8%
- エネルギー転換部門(発電所等) 6.4%
- 工業プロセス(石灰石消費等) 4.1%
- 航空機 2.4%
- 民生(家畜)部門 2.4%

国民一人当たりの排出量は年間約10.5トン=一日あたり約29kg

平成21年6月18日 地球温暖化による気候変動の水準への影響(2) 23

スライドー23

家庭一世帯の排出量は年間約5.4トン

家庭からの二酸化炭素排出量

燃料別に見ると...

- 電気から42.3%
- ガソリンから27.2%

用途別に見ると...

- 照明・家電から32.2%
- 自動車から28.7%

一日当たり約15kg

一人当たりすると年間約2.2トン。=一日あたり約6kg

平成21年6月18日 地球温暖化による気候変動の水準への影響(2) 24

スライドー24

1キロの二酸化炭素の体積はどのくらい?

- 牛乳パック10個くらい(約10リットル)
- 一斗缶3個くらい(約80リットル)
- ドラム缶3個くらい(約600リットル)
- 六畳一間くらい(約22000リットル)

答え
74グラムの二酸化炭素は約40リットル。
1キロに直すと約540リットル。一ドラム缶2.7個分

- 平均的な一世帯あたりの一日の排出量は約15キロ...
- 一人あたりの一日の排出量は約6キロ...
- ガソリン1リットルで約2.4キロ...

ドラム缶で約40本分に相当。
ドラム缶で約16本分に相当。
ドラム缶で約6.6本分に相当。

平成21年6月18日 地球温暖化による気候変動の水準への影響(2) 25

スライドー25

過去数十年の温暖化は人間活動に起因

過去の昇温が、自然起源の要因のみ(青帯)では再現できず、人為起源と自然起源の要因の両方を考慮(赤帯)すると再現できる。

人為起源の温室効果ガスの増加

20世紀半ば以降の世界平均気温の上昇のほとんどがもたらされた可能性が非常に高い。

第1次報告書(1990)
•観測された気温上昇が主に自然的要因に起因している可能性もある。

第2次報告書(1995)
•事実と比較検証した結果、識別可能な人為的影響が地球全体の気候に現れていることが示唆される。

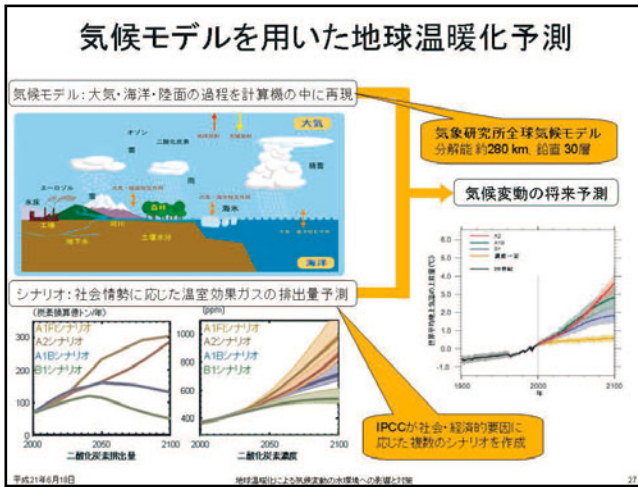
第3次報告書(2001)
•過去50年間に観測された温暖化の大部分は、温室効果ガス濃度の増加によるものであった可能性が高い。

1906~2005年の世界規模及び大陸規模の10年平均地上気温の変化(1901~1950年の平均値が基準)とモデルシミュレーションの比較

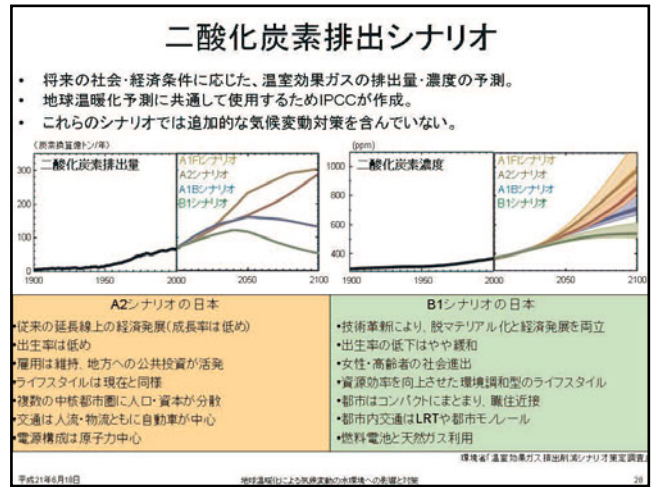
平成21年6月18日 地球温暖化による気候変動の水準への影響(2) 26

スライドー26

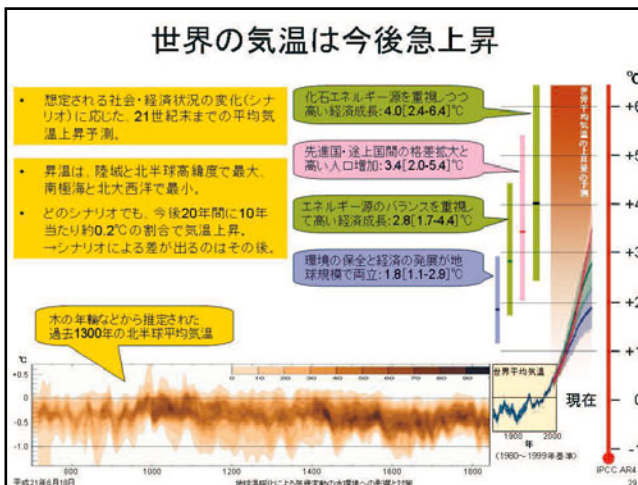
『地球温暖化のこれまでとこれから』



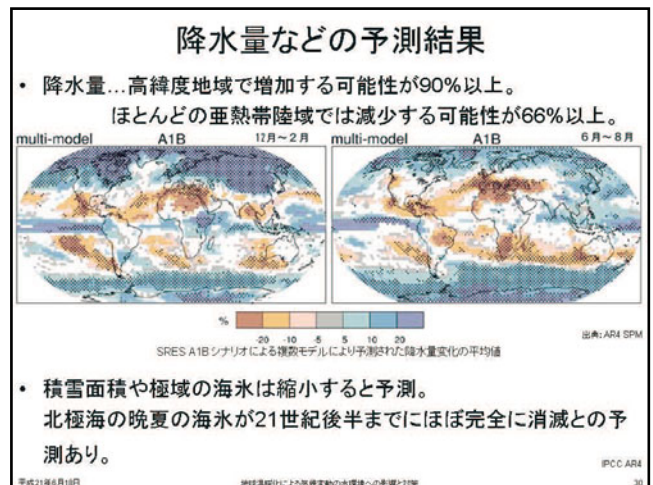
スライドー27



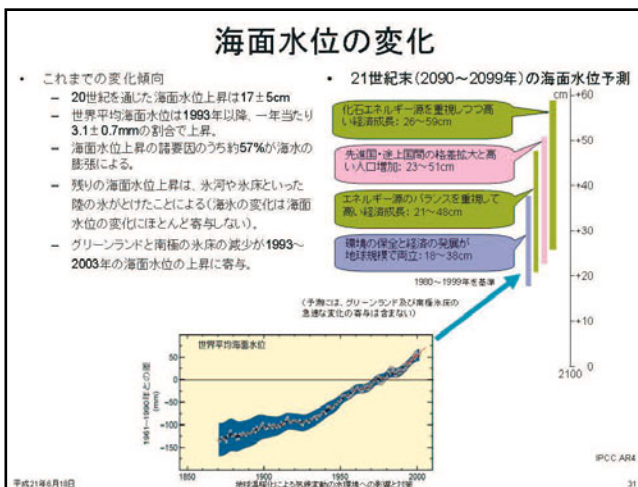
スライドー28



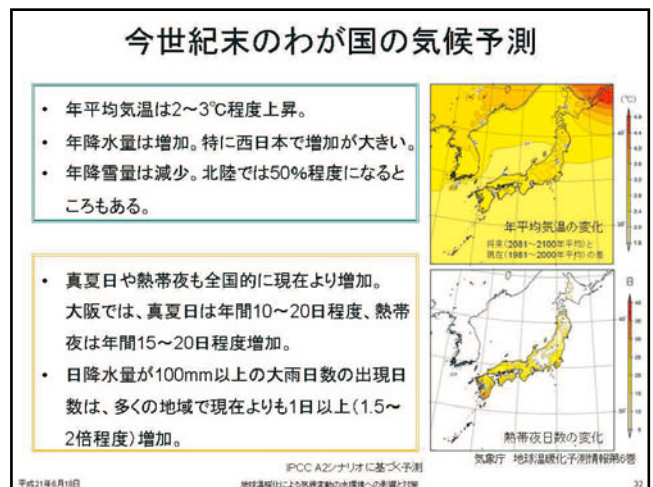
スライドー29



スライドー30



スライドー31



スライドー32

『地球温暖化のこれまでとこれから』

熱帯低気圧の長期傾向と今後の見通し

これまでの長期傾向

- 熱帯低気圧の年間発生数に明確な傾向はない。
- 1970年以降主に北大西洋で、強い熱帯低気圧の強度が増加した(北西太平洋では長期傾向は見られない)。

今後の見通し

- 熱帯域の海面水温上昇に伴って、熱帯低気圧(台風及びハリケーン)の強度は増大、最大風速や降水強度は増加する可能性が高い。
- (強度変化の予測に比べて)世界的に熱帯低気圧の発生数が減少するとの予測は信頼性が低い。

IPCC AR4

スライドー33

地球温暖化は大きな影響をもたらす

- 急激な気候の変化に対応できない生態系へのダメージ**
 - 世界平均気温の1.5~2.5℃超の上昇で、植物、動物種の約20~30%の絶滅リスク増加
 - 海面温度の1~3℃上昇により、サンゴの死滅が頻発
- 気温や海面水位の上昇による国土喪失や社会基盤の損失**
 - 2080年代までに、海面上昇により毎年の洪水被害人口が数百万人増加
 - 洪水の影響は、アジア・アフリカのメガデルタが最も多く、小島嶼は特に脆弱
- 降水パターンの変化に伴う水資源の分布や農業適地の変化**
 - 干ばつの影響を受ける面積が増加する一方、洪水リスク増加
 - 全世界の食糧生産量: 気温が1~3℃を超えて上昇すると減少→アジアでは高い飢餓リスク。
- 世界平均気温の上昇がもたらす地域的な損得**
 - 1~3℃の上昇(1990年を基準): 地域によっては便益が上回る。一得をする人もいる。
 - 2~3℃以上(1990年を基準): 全ての地域で便益の減少かコストの増加。→全員損をする。

•現在は、適応策は不十分。一層の強化が必要
•長期的には、影響の大きさが増大し、適応策だけでは対処できない
•適応策と緩和策を組み合わせることにより、気候変動に伴うリスクを低減可能。

IPCC AR4

スライドー34

地球温暖化への緩和策と適応策

- 緩和策:** 温室効果ガスを減らして、地球温暖化を原因から絶つ。
- 適応策:** 温暖化しつつある気候へ社会・経済システムを適応。

海面上昇に対する適応策の例

農業における適応策の実例

西日本を中心に稲の高温障害が深刻化

- 高温障害に強い水稲「にこまる」を平成16年に長崎県の奨励品種に採用。
- 新ブランド「ながさきにこまる」を平成19年から本格デビュー。

•現在は、適応策は不十分。一層の強化が必要
•長期的には、影響の大きさが増大し、適応策だけでは対処できない
•適応策と緩和策を組み合わせることにより、気候変動に伴うリスクを低減可能。 (IPCC AR4)

スライドー35

未来は私たちが変えられる

A2シナリオ(先進国・途上国間の格差拡大と高い人口増加): 3.4[2.0-5.4]℃

B1シナリオ(環境の保全と経済の発展が地球規模で再立): 1.8[1.1-2.9]℃

世界の平均気温が1.5℃上昇する時期に約15年の差。

私たちがどのような社会構造を選択するかによって将来予測の結果は異なる。

地球温暖化を食い止めるための努力と進行する地球温暖化に適応する努力が必要。

スライドー36

おわり

ご清聴ありがとうございました。

さらに知りたい方に

- 気象庁ホームページ
<http://www.jma.go.jp/>
- 異常気象レポート(気候変動などに関する総合報告書)
http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/climate_change/
- 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)ホームページ
(第4次評価報告書の原文がダウンロード可能)
<http://www.ipcc.ch/>
- IPCC第4次評価報告書要訳
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/index.html>

IPCC AR4

スライドー37