2007 年災害研究フォーラム

「気候変動が自然災害に与えるインパクト」

～近未来の自然災害はどう変わる？～

講　演　録

平成 20 年 2 月

損害保険料率算出機構

はじめに

近年、大規模なハリケーンや台風の襲来、記録的な大洪水や猛暑など世界各地で自然災害が多発し、損害保険業界の経営に大きな影響を与えています。

このような自然災害の増加要因のひとつとして、地球温暖化による気候変動が挙げられていますが、一方では元来危険とされてきた海岸沿いの低平地に資産が集中するなど、災害を受ける人間側の問題も指摘されています。

そこで、各分野の専門家から話題提供をいただき、現在得られている知見や情報を元に「近い将来の災害像」についてのパネルディスカッションを行い、災害に関する理解を深めることを目的として、本フォーラムを平成19年11月20日に開催（於:ベルサール神田）いたしました。

本資料は、その講演記録をまとめたものです。

今回、フォーラムに参加された方々には、さらなる理解を手助けするための資料として、参加できなかった方々には、新たな知見や情報を得るための参考資料として、ご活用いただければ幸いです。

平成20年2月
損害保険料率算出機構

講師紹介

開会挨拶

高橋　裕（たかはし ゆたか）

東京大学名誉教授（災害科学研究会委員長）

経歴
1955 年 東京大学旧制大学院課程修了
1968 年 東京大学工学部教授
1987 年 東京大学名誉教授、芝浦工業大学工学部教授
2001 年 国連大学顧問
科学技術庁資源調査会委員、国土庁水資源開発審議会会長、
建設省河川審議会委員、環境省中央環境審議会委員、
東京都総合開発審議会会長、隅田川未来像委員会委員長等を歴任。
2007 年 瑞宝中綬章に叙せられる。

基調講演

近藤洋輝（こんどう ひろき）

地球環境フロンティア研究センター
（災害科学研究会 風水害部会委員）

経歴
1972 年 東京大学理学系大学院博士課程単位取得
1972 年 気象庁入庁
1973 年 米国イリノイ大学客員研究員(派遣)
1997 年 気象研究所 気候研究部長
現在、(独法)海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター特任上席研究員・(財)地球科学技術総合推進機構 地球温暖化研究開発センターセンター長、文部科学省 参与(気候変動問題対応)、環境省 地球環境企画委員会委員、気象庁 気候問題懇談会委員等役職多数。

パネルディスカッション　［司会］

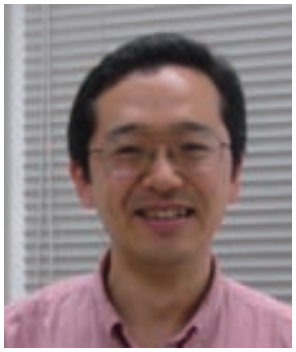
木下武雄（きのした たけお）

元国連国際防災の十年科学技術委員会委員
（災害科学研究会 風水害部会主査）

経歴
1958 年 東京大学大学院数物系研究科地球物理学課程博士課程修了
1964 年 建設省土木研究所水文研究室長
1990 年 科学技術庁防災科学技術研究所総括地球科学技術研究官
1992 年 株式会社水文環境代表取締役
2001 年 財団法人河川情報センター研究顧問
文部省ユネスコ国内委員会自然科学小委員会専門調査員、
国連国際防災の十年科学技術委員会委員、国際連合世界
流量データセンター推進委員会委員等を歴任。1972 年建設大臣賞受賞、
1989 年科学技術長官賞受賞、2001 年勲三等瑞宝章に叙せられる。

講師紹介

パネルディスカッション　［パネリスト］



吉村　純（よしむら じゅん）

気象研究所

経歴

1992 年気象大学校卒業。東京航空地方気象台勤務、気象研究所気候研究部 / 台風研究部研究官、地球環境フロンティア研究センター研究員などを経て、2004 年から現職（気象研究所気候研究部主任研究官）。気候モデルを用いたシミュレーションにより、地球温暖化にともなう将来の台風などの性質の変化に関する研究に取り組んでいる。その成果は、気候変動に関する政府間パネル第 4 次評価報告書にも反映されている。

パネルディスカッション　［パネリスト］

三上岳彦（みかみ たけひこ）

首都大学東京

経歴

1969 年東京大学理学部卒業。1977 年同大学院博士課程修了（理学博士）。東京大学教養学部助手、お茶の水女子大学助教授、東京都立大学助教授などを経て、1991 年から現職。気候変動、都市気候に関する論文多数。環境省などのヒートアイランド関連委員、日本学術会議連携会員。

パネルディスカッション　［パネリスト］

加藤孝明（かとう たかあき）

東京大学

経歴

1992 年東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻修士課程修了 。1993 年同大学院工学系研究科都市工学専攻助手。専門は都市計画、都市防災。市街地の防災性評価技術の構築 、防災計画・防災まちづくりの支援技術の開発 、防災都市計画 、防災まちづくりの実践的研究に取り組んでいる。2001 年日本建築学会奨励賞 、2007 年地域安全学会論文賞受賞 。東京都火災予防審議会委員等行政の防災 、都市計画関連の調査委員会委員を務める 。

パネルディスカッション　［パネリスト］

橋村芳徳（はしむら よしのり）

ミューニック リー ジャパン サービス 株式会社

経歴

約 10 年間の損害保険業界団体での経験後、1997 年ミュンヘン再保険会社東京連絡事務所（現ミューニックリージャパンサービス(株)）に入社。2003 年からアンダーライター兼アカウントマネージャーとして同社本店（ミュンヘン）に 2 年間勤務の後、2005 年より再度、東京にて勤務、現在に至る。2006 年損害保険部副部長。今まで、損害保険に関するセミナーなどを数多く経験。

目　次

開会挨拶 …… 1

高橋　裕　東京大学名誉教授　（損害保険料率算出機構 災害科学研究会委員長）

基調講演 …… 3

近藤　洋輝　地球環境フロンティア研究センター
（損害保険料率算出機構 災害科学研究会 風水害部会委員）
「地球温暖化の最新知見と自然災害」 …… 5

パネルディスカッション第１部：話題提供 …… 21

吉村　純　気象研究所
「台風の発生数や強度の変化に関する話題」 …… 23

三上　岳彦　首都大学東京
「ヒートアイランド現象に関する話題」 …… 31

加藤　孝明　東京大学
「都市化・逆都市化と都市が抱えるリスクの変化」 …… 39

橋村　芳徳　ミューニック リー ジャパン サービス（株）
「気候変動－損害保険業界への影響」 …… 47

パネルディスカッション第２部：ディスカッション …… 55

［司会］
木下　武雄　元国連国際防災の十年科学技術委員会委員
（損害保険料率算出機構 災害科学研究会 風水害部会主査）

［パネリスト］
近藤　洋輝　前掲
吉村　純　〃
三上　岳彦　〃
加藤　孝明　〃
橋村　芳徳　〃

閉会挨拶 …… 71

森嶌　昭夫　損害保険料率算出機構 理事長

［付　録］基調講演ならびに話題提供 講演資料 …… 73

開 会 挨 拶

高橋　裕（たかはし ゆたか）

東京大学名誉教授
（災害科学研究会委員長）

本日は、大勢お集まりいただきましてありがとうございます。主催者は、200 人ぐらい集まってくれるかなと少々心配しておりましたが、もう席もいっぱいで、ありがとう存じました。それもやはりこのテーマ（気候変動と自然災害）が多くの方々に非常に関心あるものであり、災害がこれからどうなるかということが損害保険業界にとっても非常に重大な問題ですので、損害保険料率算出機構では今回、このフォーラム開催を検討いたしました。

損害保険料率算出機構は、第二次世界大戦が終わって間もない、災害が非常に頻発する頃から発足しておりまして、災害科学研究会も大変長い歴史を持っております。そして、年中行事としてこのようなフォーラムをずっと行ってまいりました。最近事情があって途絶えていましたが、今日は５年ぶりに開くことができました。

災害だけでなく、気候変動が我々の産業や生活などにどのような影響があるかは今や地球規模の重大関心事で、しばしば新聞やテレビでそれに関連したことをいろいろお聞き及びのことと存じます。災害に問題を絞っても、気候変動によって災害が従来とは違ってくるのではないかという報道も、随分目に触れ、耳にしておられると思います。非常に悲観的なものから楽観的なものまであり、それほど明確に予測できるものではありませんが、本年はＩＰＣＣの報告が次々出され、（５年前、10 年前までは、少々本当かなという疑念も持たれていましたし、ＩＰＣＣも 100％確実と言っているわけではありませんが）その確度も高まってきています。

したがってマスメディアの社会では、気候変動問題を非常に重大な問題と捉え、将来予測について様々な報道がなされていますが、内容を充分に吟味しないまま、あるものはかなり大げさになったり、あるいは非常に歪んだ格好で伝えられたりしていると私たちは理解しております。

本日、基調講演からパネルディスカッションまでのメンバーは、この問題について科学的な面で現在もっとも正確な情報を持ち、またご自身も研究なされている方々ですので、科学の最先端ではどのように考えられているのか、自信を持って皆様にご紹介できると存じます。各分野の専門家を一同に揃えるという気候変動のフォーラム、シンポジウムはよくあります。しかし、今日のフォーラムに関しては、少なくともサイエンティフィックな面では、最も事情に詳しい方にお集まりいただいたつもりです。

ですので、どうぞご遠慮なくたくさんの質問をお寄せいただき、このフォーラムが一層活気を持つと同時に、我々にとっても皆さんにとっても非常に有意義かつ正確な情報をお持ち帰りいただくことで、皆さんのそれぞれの職場で応用、検討し、今後いろいろ考える時の参考にしていただければ誠に幸いです。

今日のフォーラムがなお一層有意義になるためには、お集まりになった皆様方の意識の中にどのように沁みこむか、それがまた明日からの皆さんの仕事に役立つのかという成果が大切ですので、我々ともども、この成果に期待し、今日のフォーラムを活発に、意味あるものにしたいと存じます。

今日はお集まりいただき、ありがとうございました。

基 調 講 演

基調講演

「地球温暖化の最新知見と自然災害」

近藤　洋輝（こんどう ひろき）

地球環境フロンティア研究センター
（損害保険料率算出機構　災害科学研究会　風水害部会委員）

要 旨

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、第一次作業部会（WG1）による第４次評価報告書（AR4）を 2007 年２月に公表し、科学的知見からのメッセージを発した。まず、進展した観測事実などから、「気候システムの温暖化には疑う余地がない。」と初めて明記し、温暖化が現実化していることを確認すると共に、その原因特定に関しても、「20 世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガスの増加によってもたらされた**可能性がかなり高い**」と、より確信を深めている。また、将来予測に関しては、第３次評価報告書にくらべ、気候モデル数も予測実験数も質・量とも進展し、一つの排出シナリオに対する気温変化予測値については、最良の見積もりや可能性の高い範囲（予測幅）も出している。

自然災害につながる極端現象に関しては、近年多発が実感されているが、「大雨の頻度はほとんどの陸域において増加しており、・・・」、「・・暑い日、暑い夜、及び熱波の発生頻度は増加した。」などの指摘がなされると共に、将来予測に関しても「極端な高温や熱波、大雨の頻度は引き続き増加する**可能性がかなり高い**」としている。また、台風に関しては、明確な傾向は確認できていないが、ハリケーンは強度が増大していることが観測されている。しかも、「将来の熱帯低気圧（台風、ハリケーン）の強度は増大し、最大風速や降水強度は増加する**可能性が高い**」ことが指摘されている。

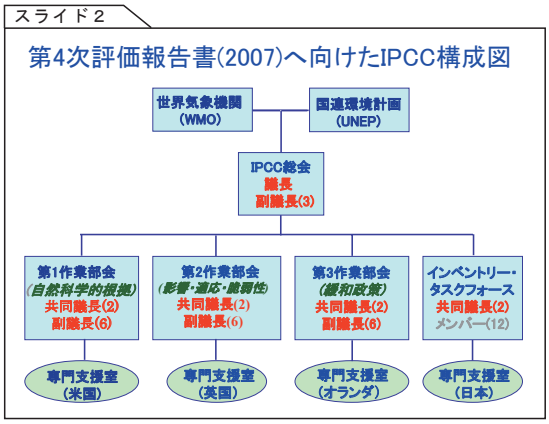
ただいまご紹介いただきました近藤でございます。

皆さんは、最終的には自然災害の問題にご興味があると思いますが、本日の私の話はそれをめぐるもう少し一般的な気候変動のお話をしたいと思います。この後、パネルディスカッションでお話いただく内容などからだんだん最終的に焦点が絞られていくかと思いますが、まず私の方からは現在、地球全体の気候変動というものがどうなっているのか、それから将来どうなるのかということについての最新知見をお話いたします。

この最新知見に関しては、いろいろな学会誌や学術誌に論文が世界的に出されていますが、

専門の査読（ピアレビュー）のある学術誌に載ったものだけを根拠として気候変動についてどれだけのことが言えるのかということを世界的にまとめ始めたのが、「気候変動に関する政府間パネル（ＩＰＣＣ;Intergovernmental Panel on Climate Change)」という枠組みでございます。

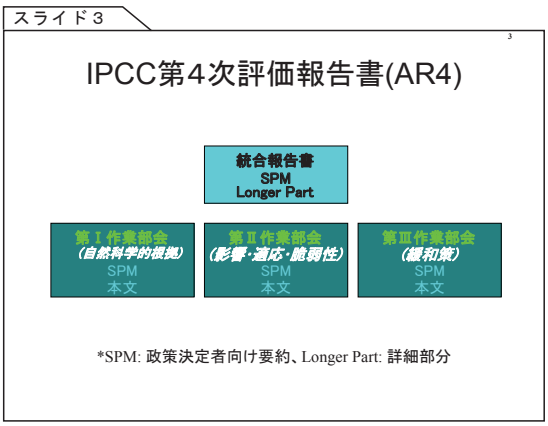
ＩＰＣＣは1988年に、**スライド２**の一番上にあります「世界気象機関（WMO；World Meteorological Organization)」と、「国連環境計画（UNEP；United Nations Environment Programme)」、この２つを母体としてつくられまして、現在の議長は３代目としてラジェンドラ・パチャウリさんが務めています。その総会の下に３つの作業部会ともう１つ、これは第４作業部会という名称の提案も一時ありましたが「インベントリー・タスクフォース」というものが設置されています。第１作業部会は、自然科学的な根拠をまとめること、第２作業部会はその温暖化というものが進んだ時の影響や、それに対する適応策、それから脆弱性というようなものについて調べること、第３作業部会はそういう温暖化が起きてきた時にどう対応するのか、特にそれを緩和する政策というものについてのオプションを研究することが任務となっています。もう１つのインベントリー・タスクフォースは温室効果ガス等の吸収や、その放出等に関するいろいろなデータを収集するという非常に大きな役割を持っています。



それぞれに専門支援室というものができておりまして、このインベントリー・タスクフォースを支援する専門支援室は日本の「地球環境戦略研究機関（IGES；Institute for Global Environmental Strategies)」が担当しており、こちら（損害保険料率算出機構）の理事長もご関係されていると理解しております。

先週まで開かれておりました会議でＩＰＣＣが第４次の評価報告書を全部完成させましたので、タイミングとしてまさに最新の情報かと思います。今日はそれらを中心として、さらにこれまで日本がどのような貢献をしてきたかということも含め、より詳細にお話したいと思います。

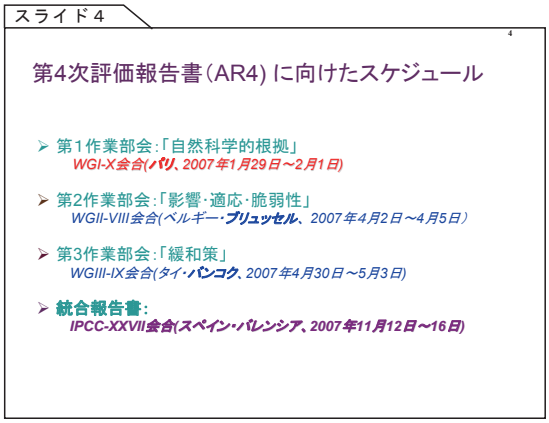
第４次評価報告書（**スライド３**）というのは、先ほど３つの部会があると申しましたが、それぞれ部会毎に報告書を作るわけです。報告書は本文とＳＰＭ（Summary for Policy Makers）から成ります。本文は1,000ページにもわたる膨大なものですが、ＳＰＭはこれら本文を政策決定者向けに要約したものです。政策決定者向けにどのようにまとめてわかりやすく伝えるかということをまとめます。これは非常に重要なことで、それぞれの会議ではそれが主に議論されてきています。そのような３つの報告書をさ



らにまとめる統合報告書というものがあります。実は先週、この統合報告書のＳＰＭと本文が完成しました。この本文（本編とも称する）は以前、スライド３のように「Longer Part」といっていましたが、現在、「Longer Report」と名前が確定しました。

これまで（**スライド４**）、今年の２月１日にパリの会議でこの第１部会の自然科学的根拠というものを完成させ、次々に第２、第３作業部会でそれぞれ報告書を完成させました。そして統合報告書の会合は元々、先週の（2007 年）11 月 12 日（月）から 16 日（金）までの予定でしたが、17 日に国連の事務総長が来るということになり、会期が 17 日までとなりました。ここでまた記者会見や事務総長の演説等があり、昨夜（2007 年 11 月 19 日）、ようやく帰ってまいりました。

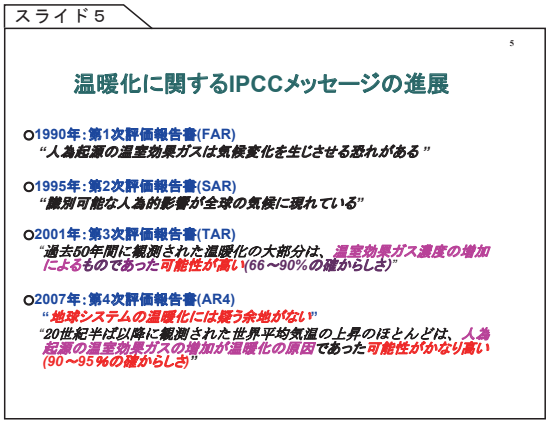
スライド４



余談ですが、これまでＩＰＣＣの会議で国連の事務総長が演説するというようなことは、全くあり得なかったことで、それだけ国際的な関心が非常に高まっているということを反映していると思います。それからご存じのように、今年のノーベル平和賞がアル・ゴア元米国副大統領とＩＰＣＣという枠組みに対して与えられることになりました。表彰式は 12 月 10 日と聞いております。これは気候変動に対する非常な関心の高さ、あるいはその重大性が反映しているものと理解しております。

それで、ＩＰＣＣがどういうメッセージを出してきた（**スライド５**）のかというと、1990 年に第１次評価報告書を出しましたが、この時には、「人為起源の温室効果ガスが気候変化を生じさせる恐れがある」という、非常に慎重な表現でした。そして 1995 年の第２次評価報告書の時には、「識別可能な人為的影響が全球の気候に現れている」という表現で、やや深まりましたがそれでも非常に一般的な表現にとどまっていました。2001 年に第３次評価報告書が出たのですが、この時は温暖化の原因を明らかにするという「原因特定」をある程度行い、それを「可能性が高い」といった表現をとるようになりました。「可能性が高い」とは 66 ～ 90％という確からしさをさしています。

スライド５



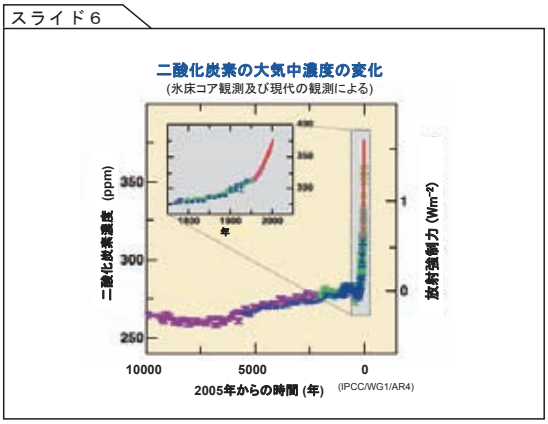
今回の第４次評価報告書では、１つは、「地球システムの温暖化には疑う余地がない(unequivocal)」というメッセージを発しました。国連の事務総長は、これに対応して”Threat is real.”と発言しています。つまり、今まで温暖化の脅威はある、あると言われていましたが、これはもう現実化しているということを表現しているのだと思います。

もう１つは、細かいところで微妙に表現が違うもののほぼ同じことではありますが、温暖

化の原因というのは人為的起源による温室効果ガスの濃度増加であり、その確からしさは95%以上（extremely likely；きわめて可能性が高い）とは行きませんでしたが90％以上（very likely；かなり高い）であると非常に確信を深めた表現としています。

それで温暖化をもたらす原因ですが、まず温室効果ガスというものの中で一番大きな役割を果たしているのが、ご存じのように二酸化炭素です。二酸化炭素は１万年の長い時間にわたって調べてみると、つい最近の数百年（工業化以降の250年程）というのは、図中では縮められてしまいますが、この過去１万年の時間の流れで見ると、いかに異常な変動をしているかがわかります。変動というより一方的な増加です（**スライド６**）。

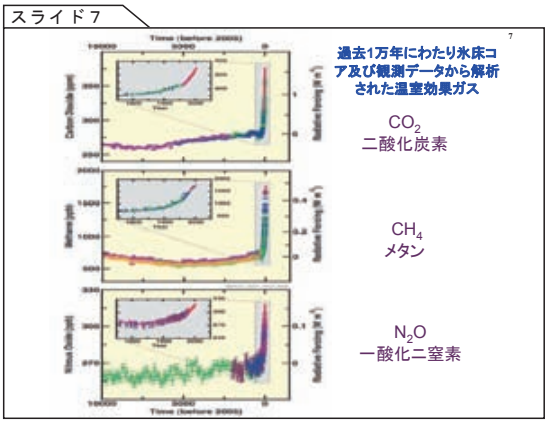
スライド６



これを拡大して工業化以降の時代を見るとこのように（**スライド７**）広がりますが、非常に異常な事態であることがわかります。これは、他のメタンとか、一酸化二窒素という温室効果ガスについても同様で、過去１万年の規模で見ると、本当に最近の変化は異常です。メタンなどは近年のところで変化が鈍っていますが、このような長いスケールで変化を見ますと、それでも異常な状況になっています。

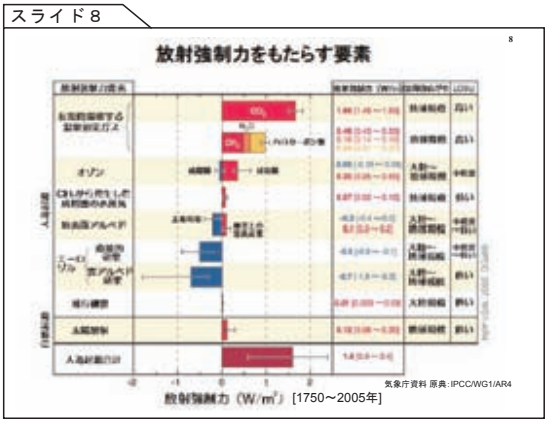
このような人為起源のものも含めますと、いろいろな力が気候を変える役割を果たしています。

スライド７



スライド８は放射強制力を表したものです。放射強制力とは専門的な言葉で恐縮ですが、温暖化を進めるのか、それとも冷却させるのかという要因の程度を示す指標とご理解いただけるとよいと思います。この棒グラフが右側に広がっているものが、温暖化を進める、つまり正の放射強制力があるということです。産業革命が始まったのが1760年ぐらいからですが、スライド８に挙げられている量は1750年から、つまり産業革命（工業化）以前の時代と現在を比較して、どの程度それぞれの外力が変化しているかを示しています。図の上方が、温室効果ガス等が出ているところです。中段辺りがエーロゾルあるいはエアロゾルとも言いますが大気

スライド８



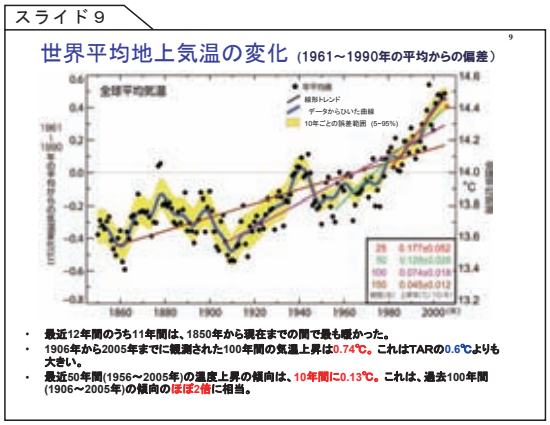
中の微粒子を指しています。このエーロゾルは自然起源のものもありますが、いろいろな煤煙がそれにあたります。工場から出てくるような煤煙も含まれます。煤（すす）等はプラスの効果を持っていますが、そのような一部のプラスのものを除くと、全体としてマイナスの効果を持っております。これもかなりの程度です。自然起源のものは産業革命以前にもありましたので、それ以外をほとんど人為起源のものとみなすと、放射強制力の変化はトータルで最下段の1.6W/㎡程度になります。

それに対して、自然起源のもので産業革命前と比べて現在増えているというのは、ごくわずかに太陽放射くらいで0.12W/㎡程度と、人為起源のものと比べると一桁ぐらい違っています。一桁以上違うと言ってよいと思いますが、一応この誤差の範囲もある程度見込んだとしても一桁程度の差があり、現在は人為起源による温暖化の要因というのが強くなっているということがわかります。

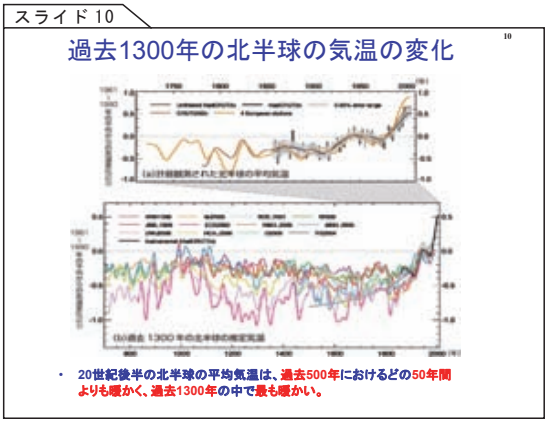
それをもう少し具体的に気温がどのように変わってきているかというのを**スライド9**で見てみます。150年ぐらいさかのぼって見てみると、いろいろな変動があって、1910年頃では少し下がったりしています。しかし、そのような自然変動を別とすると、全体として変化傾向というのは、長期間では少し緩やかですが、短い期間で、最近の様子を見るとだんだん加速してきていることがわかります。このようなことが実際に観測されている状況です。

それから、1300年ぐらいの過去にさかのぼってみます。この時期は測器による資料は存在しないので、主に氷床ですが、他にも年輪、サンゴ等のいろいろな資料から様々な手法を用いて温度を推定すると、**スライド10**のようなものが表れてきます。このように非常に長いタイムスパンで見ても、この規模の変動は過去には見られず、最近50年間の変動は異常な状況だということがわかると思います。

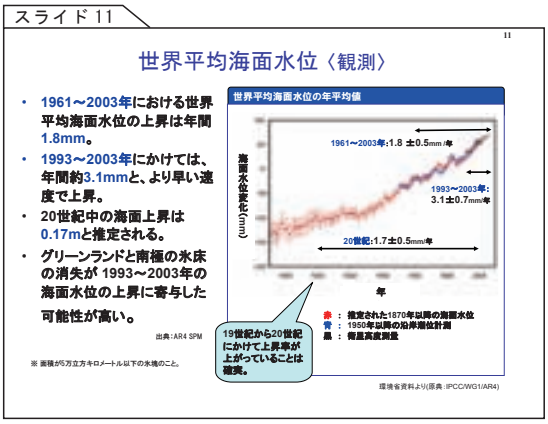
スライド9



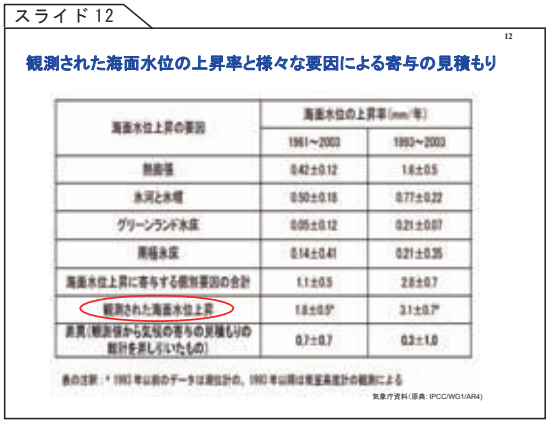
スライド10



スライド11



スライド12



それから海面水位についても緩やかに上昇率が上がってきていることがわかります（**スライド 11, 12**）。しかも、最近ほど、温度にしても、海面水位上昇にしても顕著になってきているという状況です。

海面水位の上昇については何によって起きているかということが、いろいろわかってきています。まず海水が温まったことによる熱膨張によって水位が上がります。海水というのは、平均 4,000 m位の水深がありますが、3,000m 位まではもう温まっているということがわかっています。その膨張によるものがある程度はっきりしており、それ以外に氷河もあります。それから氷床は、北の方はグリーンランド、南の方は南極にある、非常に広大な敷地の上にある氷ですが、1961 年から 2003 年と、もう少し後の 1993 年から 2003 年というごく最近の時間をとって、年当たりの変動を見ると、この氷床からの氷の流出が増え、海面水位を上昇させている部分が非常に増えてきていることがわかっています。

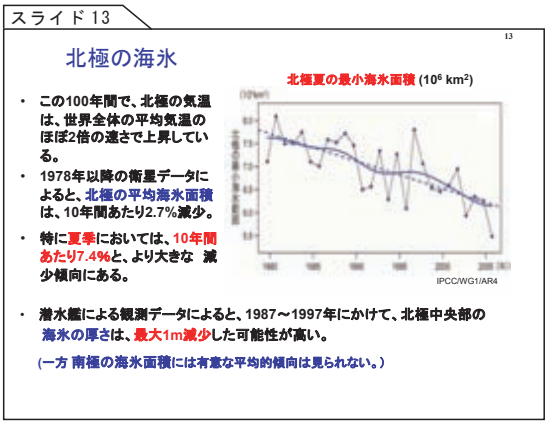
シミュレーションによるこのような気候の推定が、観測されたものと若干の差はありますが、ある程度できるようになって、信頼性も高くなっているといえます。しかし、特にこの氷床の減少が非常に大きくなっていることはモデルではまだ十分表現しきれていません。ここはこれからの課題になっています。

それから、海面水位には直接関係ないのですが、海氷といって海の氷があります。溶けても海水そのものになり、海面水位を変化はさせないのですが、温暖化にしたがってだんだん溶けてきています。北極の夏の頃の最小の海氷面積をプロット（**スライド 13**）しますと、だんだん減ってきており、平均化すると、はっきりと減少していることがわかります。予測でも今世紀末ぐらいには夏に完全に北極の海氷がなくなるという結果を出しているモデルもあります。日本のモデルの中でも一部そのようなモデルがあります。

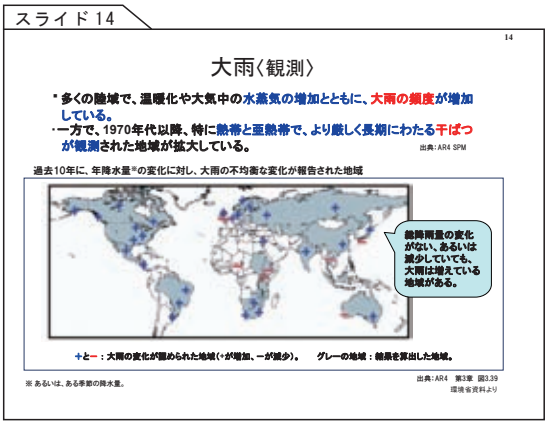
大雨もいろいろなところで観測されています（**スライド 14**）。この大雨の話は、また後で詳しく説明したいと思いますが、総降水量がそれほど変動していないところでも、大雨が増えているという状況が観測で出ております。

そのような極端現象をまとめますと、今、寒い日と寒い夜の頻度が減少していますし、少し細かいですが**スライド 15** のように、暑い日と暑い夜の日数の増加、継続的な高温、それから熱波の頻度が増加しているということは、観測的にもはっ

スライド 13



スライド 14



スライド 15

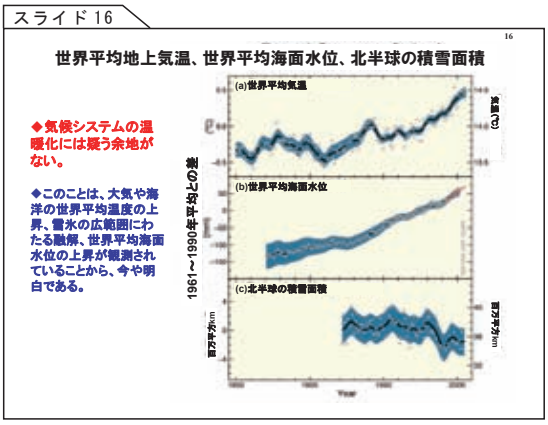
現象及び傾向	20世紀後半（主に1960年以降）に起きた可能性	観測された傾向への人間活動の寄与の可能性	SRESシナリオ※1を用いた21世紀の予測に基づく将来の傾向の可能性
ほとんどの陸域で、寒い日と寒い夜の頻度が減少し、昇温	可能性がかなり高い※2	可能性が高い※4	ほぼ確実※4
ほとんどの陸域で、暑い日と暑い夜の頻度が増加し、昇温	可能性がかなり高い※2	可能性が高い（夜）※4	ほぼ確実※4
ほとんどの陸域で、継続的な高温／熱波の頻度が増加	可能性が高い	どちらかといえば※5	可能性がかなり高い
ほとんどの地域で、大雨の頻度（または総降水量に対する大雨の降水量の比率）が増加	可能性が高い	どちらかといえば※5	可能性がかなり高い
干ばつの影響を受ける地域が増加	多くの地域で1970年以降可能性が高い	どちらかといえば	可能性が高い
強い熱帯低気圧の数が増加	いくつかの地域で1970年以降可能性が高い	どちらかといえば※5	可能性が高い
高潮の発生が増加（津波を含まない）	可能性が高い	どちらかといえば※5 ※6	可能性が高い※7

※1 予測シナリオについての説明は、p36参照。
※2 寒い日と寒い夜の頻度の減少
※3 暑い日と暑い夜の頻度の増加
※4 各年の最高気温を記録した日・夜の昇温
※5 人間活動の寄与の強度は評価されていない。これらの現象への寄与は公式な寄与に関する研究より専門家の判断に基づいている。
※6 高潮の変化は平均海面水位の変化によく追随する。人間活動が平均海面水位の上昇に寄与している可能性はかなり高い。
※7 全てのシナリオにおける2100年の世界平均海面水位は参照された期間より高い。地域気象システムの変化が海面水位の極端な現象に与える影響はまだ評価されていない。

きりしています。将来の予測についても、細かいので割愛しますが、このようにして表にすることができる状況になっています。

これらを全部まとめると、世界の平均気温は、自然変動が加味された変動はありますが、全体として長期的な上昇傾向というのは、非常にはっきりしていると言えます。それから、海面水位というのは、海というのは非常にゆっくりと変化しますから、気温のような激しい変動がない代わりに、はっきりとした上昇傾向が見られます。

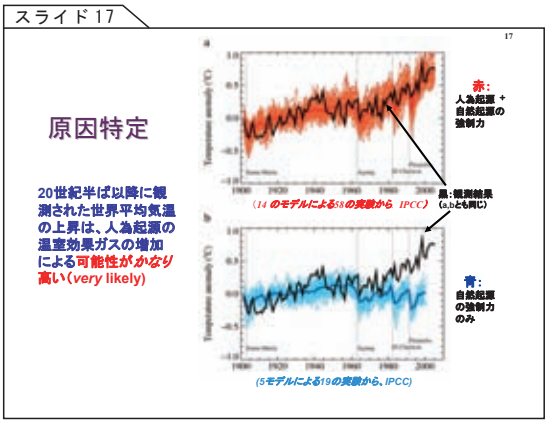
スライド 16



それから、北半球の積雪面積は、これも変動はありますが明らかに減少していることがわかります（**スライド 16**）。このような事由、さらにモデル等による裏付けから、地球システムの温暖化には疑う余地がないというのが、ＩＰＣＣの非常に大きなメッセージになっています。

それでは、その温暖化はどうして起きているのかという原因特定をすること（attribution）が非常に重要なわけです。それには、気候モデルの力を借りる必要があります。現在、幾つかのモデルが利用可能になっており、その１つのモデルでもいろいろ実験をした結果が出るようになっています。例えば**スライド 17** は、14 のモデルによる 58 の実験をまとめたもので、実際に観測された 20 世紀の世界平均気温の変化（黒い太線）と実験の結果（赤い線）を表しています。いろいろな気候モデルを用いて、20 世紀の気候を再現して平均気温がどうなるかを調べ、重ね合わせて書くと、ほとんど全体が重なっており、その多くのモデルによる多くの実験が、実際に起きた気候変化、温度変化を表わすことができるようになっています。

スライド 17

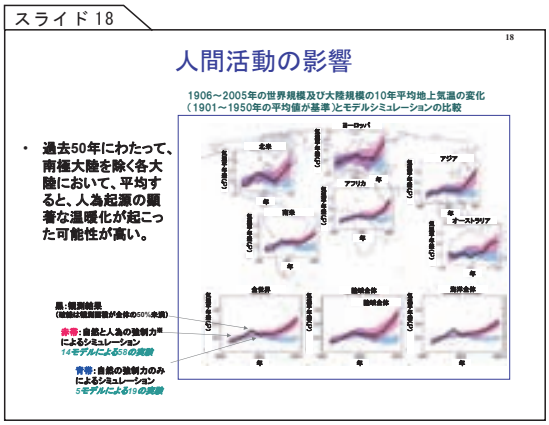


実際に気候を変化させる要因には、先ほどのように自然起源のものと人為起源のものがあります。自然起源というのは、例えば太陽活動の変動や火山噴火であり、これによって気候変動が起きます。そのような気候を変動させる外力というものが自然にはあります。それ以外にも温室効果ガス濃度の増加、それはプラスに利きますし、エーロゾルのようなものはマイナスに利くわけです。それから森林伐採などの土地利用変化というようないろいろな人為起源の外力がありますが、ここに出ているモデル結果は、人為起源と自然起源を両方重ね合わせたものです。

ところが、同じモデルで自然起源だけ入れて走らせますと、スライド 17 の下図のような結果となります。平均したのが青い線ですが、人為起源の外力がないとこのような変化をするだろうということです。ところが観測されたものは黒線のような変化をしています。この違いは何によって説明されるかというと、自然起源の外力からは出てこない人為起源の外力によるということになります。そのようなことから、これは原因特定の確からしさがかなり高いという評価がされたわけです。英語では very likely と表現します。

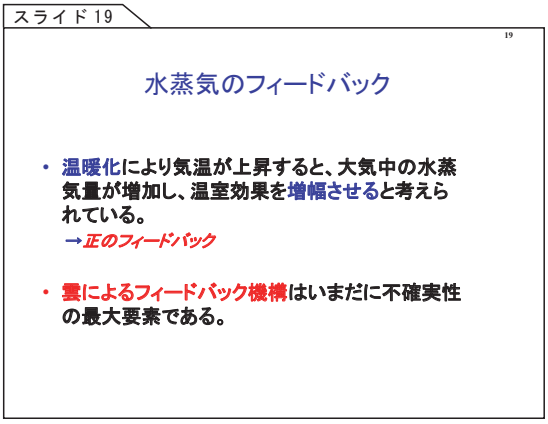
これは今、地球全体について言いましたが、それを各地域についてもまとめたのが**スライド 18** です。陸域全体では自然変動が激しくなっています。実線が観測されたものです。それに対して全部の効果を入れたモデル結果が赤帯部分、自然起源だけを入れたモデル結果は青帯部分で表しています。これもはっきり差がわかりますし、海洋全体でもやはりその差ははっきりしています。地域によって、例えば北米などは自然変動が非常に激しくなっています。これはいろいろな理由があって、１つに短期的な気候の自然変動があることが知られています。それらを加味しても気温は全体として増えていることがわかります。人為起源の要因を入れないと、ほぼ横ばいになってしまうはずです。アジアの変動は緩やかですが、やはり温暖化が示されています。

スライド 18



このように人間活動の影響というのは、はっきりとどこでも現れていることがわかってきましたが、モデルというのはいろいろまだ不完全で、完全に一致するとは言えないところも少しあります。例えば雲などの作用は、まだ確実になっていないところがあります（**スライド 19**）。

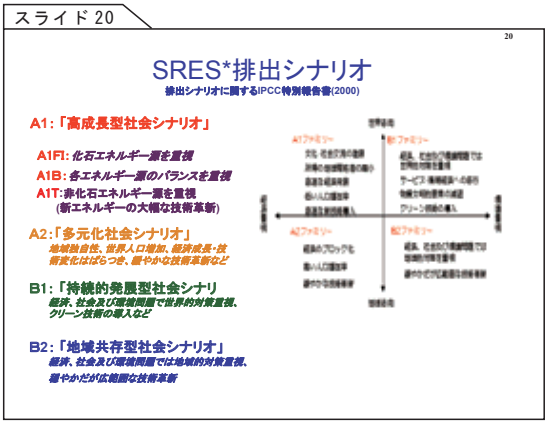
スライド 19



それからもう１つ、将来どうなるかということを考えるためには、さらに不確実なことがありまして、それは人間が今後どのように振る舞うかという問題です。つまり、どのような排出をこれから人間がしていくかということによっても随分違うわけです。

人間が環境重視に振る舞うのか、経済重視に振る舞うのか、それとも世界志向があるのか、地域志向があるのかという、そのような４つの軸でいろいろな排出シナリオのファミリーを考えたのが、2000 年の排出シナリオに関する特別報告書（SRES；Special Report on Emission Scenarios）で、そこでは将来の政策的削減は考慮されていません。今回の第４次の評価報告書でもこれを基本に排出シナリオをモデルに適用しています（**スライド 20**）。現在ＩＰＣＣでは、これをさらに更新した、人間がこれに削減努力など介入していくというようなことも含めた、新しいシナリオについての議論が進んでいます。

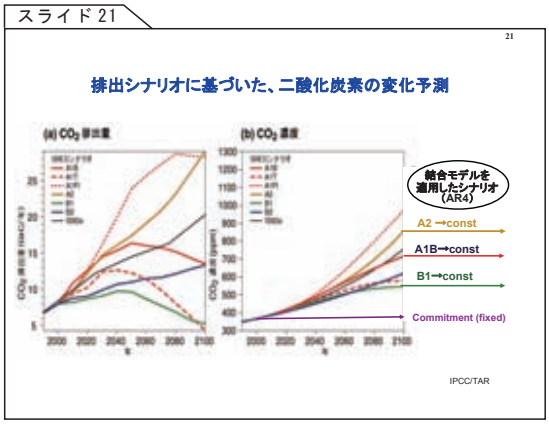
スライド 20



ここでは、実際にどのようなモデルを走らせたかということを少しお話しておきます。

（**スライド 21**）現在から 100 年間に関しては、いろいろなシナリオを入れた際の排出量について、特別報告書で調べられています。それに基づいて大気中の温室効果ガス濃度がどうなるかについて、例えば二酸化炭素については、メタン等も同様ですが、途中から排出量が減るシナリオもあるのに、それでも大気中の濃度は増え続けます。滞留時間があり、簡単にさっとすぐに消えてしまうものではないので、これら削減策を考えていないどのシナリオでも濃度は増えていきます。

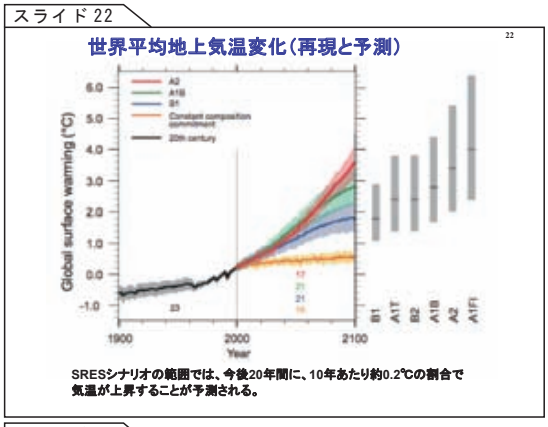
スライド 21



また、濃度が今後一定だと仮定するコミットメント（スライド 21 の右図中の紫色の線）というものも一応仮想的に考えた計算もしています。そして、他のシナリオについても、2100 年から先がもし一定だとしたらどうなるかという計算も行っています。

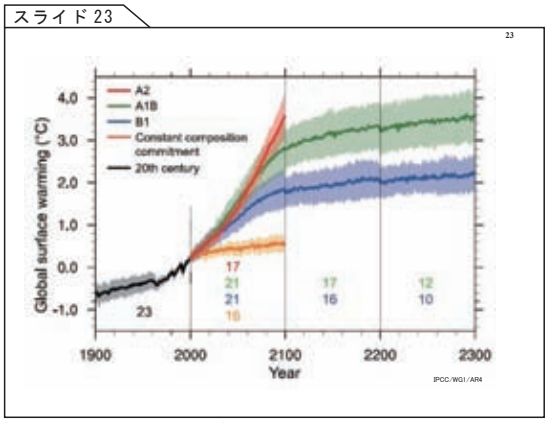
その結果、まず 21 世紀全体で見ると、どのシナリオでも気温は増加していることがわかります（**スライド 22**）。特に近未来、これから 25 年ぐらいの間は、どのシナリオでも同じように上昇していくことがわかります。したがって、これからの近未来を予測する時には、あまりシナリオを気にしないで調べることになります。

スライド 22



地球シミュレータという日本が誇るスーパーコンピュータがあり、この第４次でも非常に貢献しました。これを利用した文部科学省による非常に大きな５年間のプロジェクトが今年度立ち上がりましたが、そのターゲットの１つが、近未来がどうなるかということになっています。東京大学（以下、東大と称す）や気象研究所（以下､気象研と称す）のグループがターゲットにしていて、気象研はさらに今世紀末もターゲットにしていますが、近未来というのは非常に重要なターゲットになります。これは、皆さんがご関心のある極端現象、豪雨や干ばつが今後どうなるかということを調べる必要があるということでもあります。

スライド 23



もう１つ重要なのが、先ほどの温室効果ガス濃度が一定だと仮定をした場合の結果ですが、濃度が一定でも気温はこれからも増え続けます。例えば、海水温などは既にゆっくりと上昇し始めていまして、これは簡単には止まらないのです。

先ほどは 2100 年よりさらに先までいった時（**スライド 23**）に、そこで濃度が一定になると

仮定しましたが、どのシナリオでも気温はどんどん増えていきます。

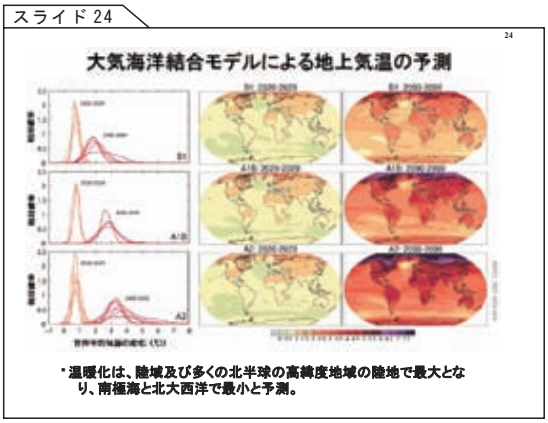
シナリオ毎の詳しいことはやめておきますが、どのシナリオについても共通した温暖化の地域的分布状況がわかっています。それは例えば陸地の方が海洋上よりも、温暖化が進むといったことです（**スライド 24**）。つまり、海というのは水ですから、温まりにくく冷めにくく、非常にゆっくりと変動していくのに対し、陸地の方が温まりやすく冷めやすいということで、海よりもはるかに早く温暖化が進みます。それから、北極の近い地域がより温暖化が進むことがわかります。そのような共通性があります。

それで、北極と日本とどれぐらい違うかということを、Ａ１Ｂという中程度の排出シナリオで見ます（**スライド 25**）と、今世紀末までに日本を含むアジアは、3.3℃ぐらいこれから上昇すると予測されています。ところが、北極はもっといきまして、4.9℃、約５℃上昇すると予測されています。これらはいろいろなモデルから見て、最良の推定（Best estimate）とされています。likely range という幅がありますが、その中の Best estimate というもっともらしい推定値が、この第４次評価報告書では出ています。

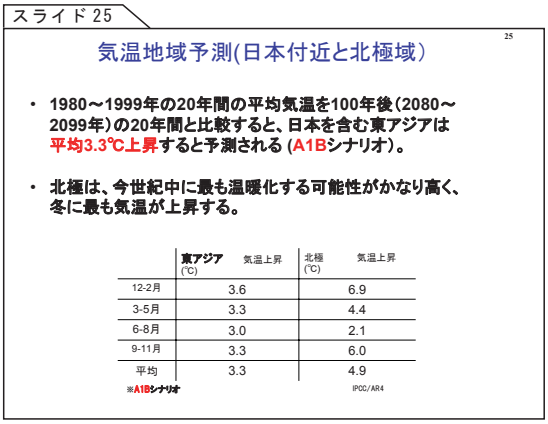
他にもっと温暖化が進むと、いろいろな複雑なことが起きるのは、炭素循環の変化です。二酸化炭素というのは土壌中を含む陸域や海洋の生態系が呼吸したり、光合成をしたりということに反応しており、温暖化が起きると、その生態系などが影響を受けますので、これは大気中の濃度に対しては、むしろ増加させるようなことになります。そうすると、温暖化はさらに進みます。その炭素循環と気候システムの間のフィードバックというものが進むことが、最近の研究ではっきりしてきました（**スライド 26**）。

つまり、温暖化というのは、従来考えられていたより、より高めに考えなければいけないということがわかってきました。**スライド 27** の

スライド 24



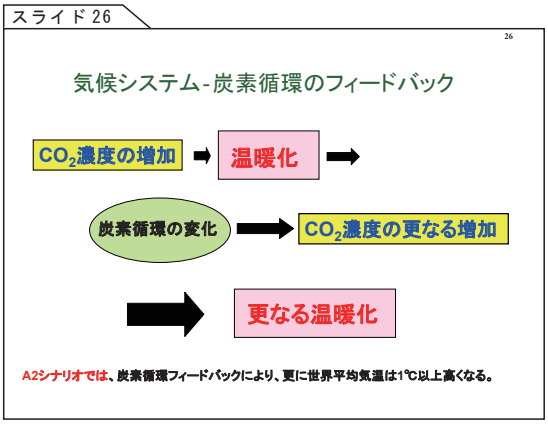
スライド 25



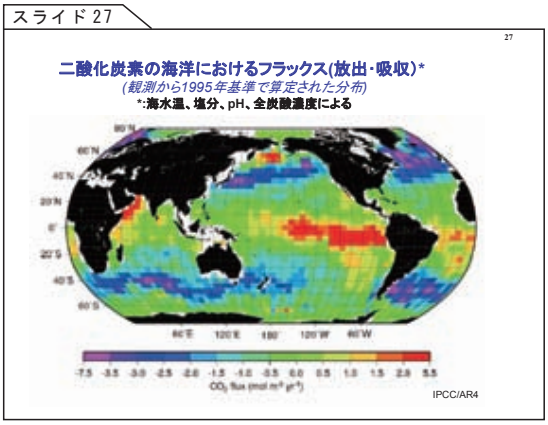
	東アジア 気温上昇 (℃)	北極 気温上昇 (℃)
12-2月	3.6	6.9
3-5月	3.3	4.4
6-8月	3.0	2.1
9-11月	3.3	6.0
平均	3.3	4.9

※A1Bシナリオ

スライド 26



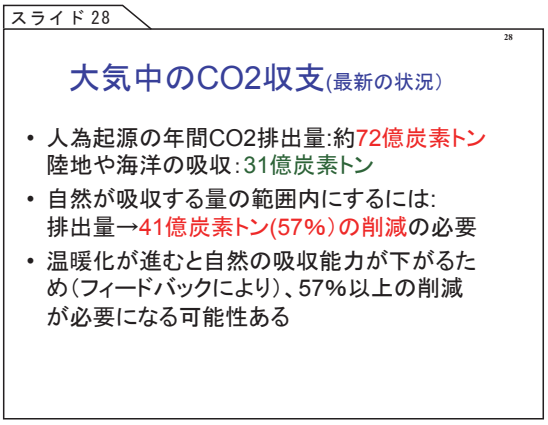
スライド 27



図中の青いところが、世界の海洋のうち二酸化炭素を吸収しているエリアで、赤いところは放出しているエリアですが、このように非常に複雑な分布をしていることがわかっています。

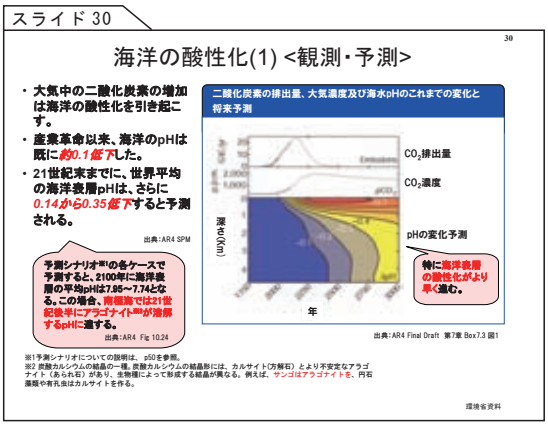
この二酸化炭素の収支については、大体最近の状況を言いますと、人間は二酸化炭素を年 72 億炭素トン（炭素の量に換算した単位）排出しています。それに対して、半分ぐらいの 31 億炭素トンは海や陸地が吸収していますが、そうすると残りの 41 億炭素トンを削減しないとバランスが取れません。つまり、それほど今は大変なことになっているということです（**スライド 28**）。

スライド 28



それからもう１つ、これは今度のパリの会議でも、日本代表から特にこれはぜひＳＰＭに入れてほしいということで認められた重要な新知見があります。これは海洋に二酸化炭素がだんだんより多く吸収されるようになってくるので、その結果、酸性化が進むということがわかってきたということです。もう既に酸性度の指標である pH の減少がこれまでにかなり進んでおり、今後も海洋の酸性化が進むということがわかってきました（**スライド 30**）。

スライド 30

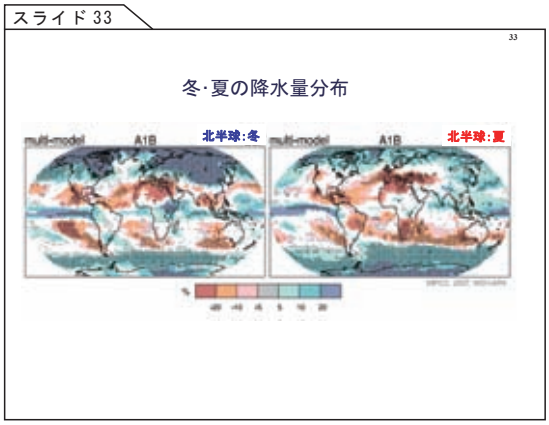


酸性化が進むとはどういうことかというと、今現在は、海洋の pH は大体８前後の弱いアルカリ性（中性は pH ７）ですが、この数値の減少の傾向が今進みつつあるということです。これも海洋の生態系に非常に大きな影響があるということがわかってきていまして、懸念される１つのインパクトとなっています。

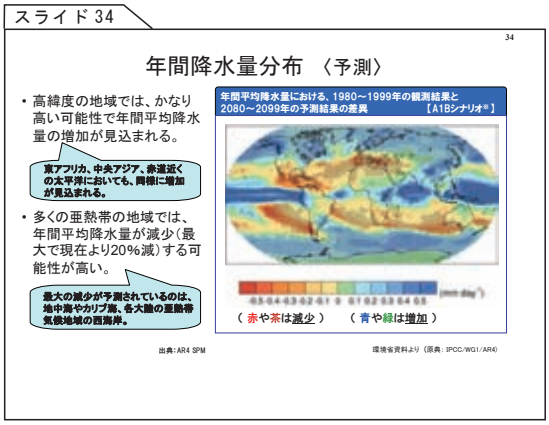
それからいろいろなことがありますが、スライド 31, 32 は省略して（付録１．参照）、皆さんのご興味のある降水量の分布を見ていきます。

スライド 33, 34 は将来の降水量を表しており、青いところが、降水量のはっきりと増加している地域で、点々がついているところは、どのモデルでも共通の結果となった地域で

スライド 33



スライド 34

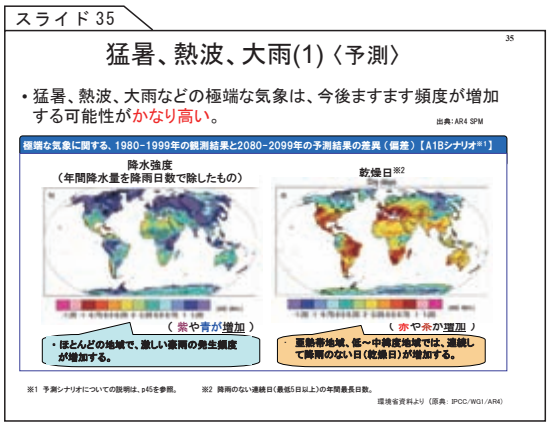


す。逆に亜熱帯の、例えば地中海域等は、北半球の夏冬に関わらず乾燥が進むということが出ています。

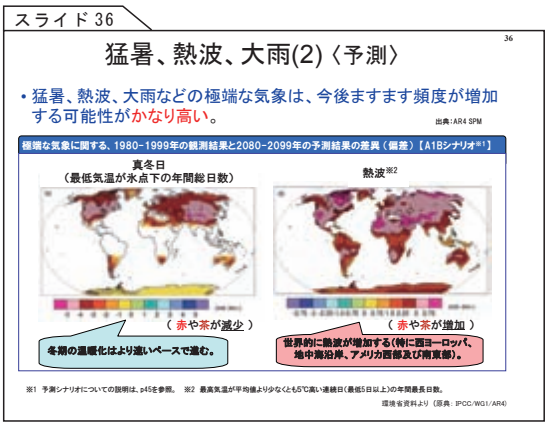
実は、今度の統合報告書で河川の流出量分布を図にしたものを入れようかということが原案ではありましたが、「サウジアラビアの細かいところがうまく表現されていない」「中国のところがうまく表現されていない」というようなそれぞれの国の代表の見解があり、その河川流出量（Runoff）の世界的な将来の図についてはＳＰＭには載りませんでした。ただ、本文（Longer Report）には掲載されており、参照することができます。

そのほかに予測として、猛暑とか熱波とか豪雨とか、そのようなものが増加する可能性がかなり高いという、非常にはっきりした表現がされています（**スライド 35, 36**）。

スライド 35

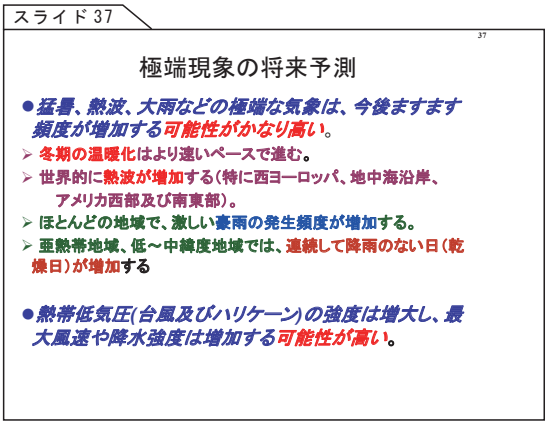


スライド 36



その図の中で議論し始めると幾らでも話がありますが、まとめますと（**スライド 37**）、極端現象の将来予測というのは、猛暑、熱波、大雨などの極端な気象は、今後ますます頻度が増加する可能性がかなり高い、very likely という 90%以上の確率があります。また冬の温暖化は、より速いペースで進むということ、そして世界的に熱波が増加するということです。特に西ヨーロッパ、地中海沿岸、アメリカ西部および南東部です。

スライド 37



日本のようなところはどうかという詳しいことは、現在ある世界のほかのモデルが、約 300km の解像度しかありませんので、うまく表現できませんが、それでも、豪雨、それから乾燥日の増加といったことはある程度言えそうです。熱帯低気圧の話は、この後別途あると思いますので省略しますが、とにかく強度が増大するという可能性が高いということがあります。

そういうことで、ＩＰＣＣというのは非常に一般的な評価、かなり確信を深めた評価をして

スライド 39

いますが、それに向けて日本がどういうことを貢献したかというと、日本は国策として、地球科学のために計算資源を提供したわけです。それが 2002 年から運用された地球シミュレータ（**スライド 39**）というもので、これはいまや我々の分野では国際的にも有名なものとなっています。ＩＰＣＣに向けた実験がなされた時期を含めて、運用以来、数年間、世界のスーパーコンピュータの中で第１位の計算速度を誇りましたし、地球科学に用いられる計算機としては現在でも第１位だと思います。

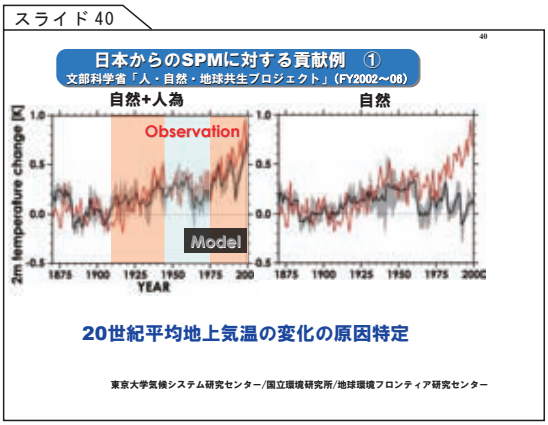
このようなものを使って、先ほどの原因特定の結果というような成果を東大のグループが出しており、研究の中心的な役割を示しました（**スライド 40**）。それから、台風のことについては気象研のグループが非常に大きな役割を果たして成果を上げました。気象研のモデルは、全球の大気モデルと、これまでの気候モデルを組み合わせたものです。将来の気候に全球の大気モデルを適用する際は、普通の気候モデルでは解像度が 300km ですが、何とその気象研のモデルは 20km という解像度を持ち、日本の複雑な地形や、地域的な詳細な情報が表現できるわけです。

例えば**スライド 47** は、全球的な降水量の分布の冬と夏の観測値とモデルによる結果を示したものですが、このような世界的な分布図としては非常によく合っているケースで、その表現力がよいことがわかったわけです。

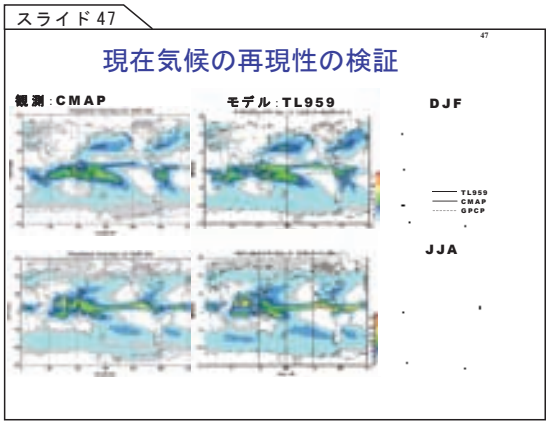
日本付近で見ると、**スライド 48** の一番上が観測されたケースで、それに対して真中は現在を再現したもので、大体対応しているといえます。将来どう変化するかというと、一番下の図のように南西日本のところで雨が増えるということが出ています。

スライド 49 でもう少し詳しく見てみます。極端現象のケースがいろいろありますが、上段の Pav というのは年平均の降水量です。その一番左の図を見ると、現在はこのような観測があ

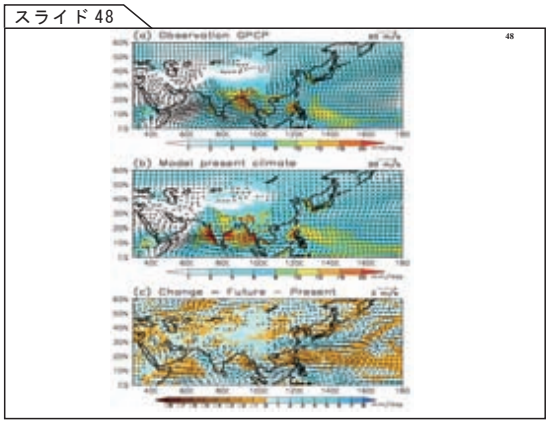
スライド 40



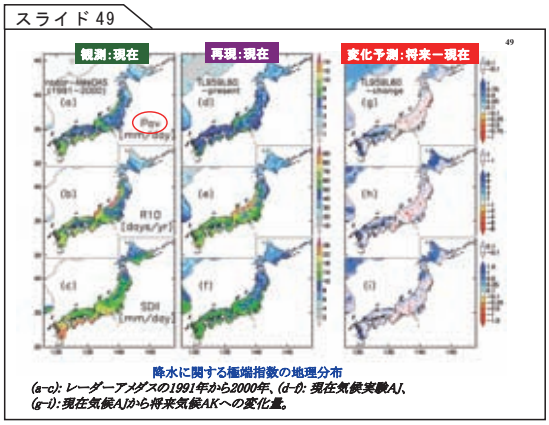
スライド 47



スライド 48



スライド 49



りますが、真中の図に示す年平均降水量の再現結果を比べるとある程度対応しているように見えます。そして一番右は将来の変化を示しており、将来このくらい増加するというのが出ています。

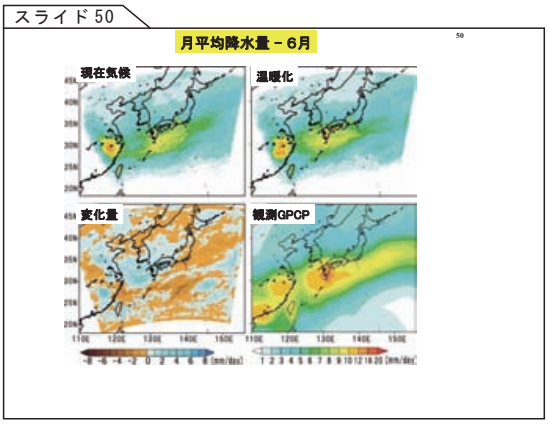
他にも様々なインデックスがあり、詳細はやめておきますが、６月に関して見ます（**スライド 50**）と、現在の気候の観測値が右下の図です。左上は気候モデルによる再現で、左下が温暖化した時の変化量を示しています。

やはり南西日本の雨が増加するというのが出ています。

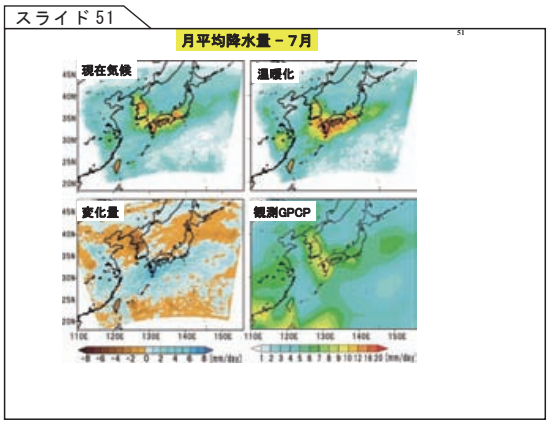
しかし、全球で 20km というようなモデルは世界では日本の気象研のグループが唯一で、比較するものがありません。一人だけ水を開けて走っている水泳選手か、トップランナーみたいなもので、現在先端を行っているわけです。そのためにＩＰＣＣとしては、これらについてまだ確認できた情報というところまで踏み込んでいませんが、このような地域的に詳細な予測情報が出始めているということで、非常に意味があるかと思います。

７月についても同様（**スライド 51**）で、南西日本の雨が将来増えるだろうということが予測されます。

スライド 50



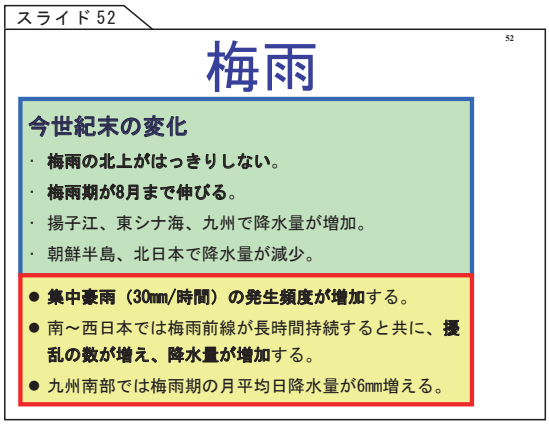
スライド 51



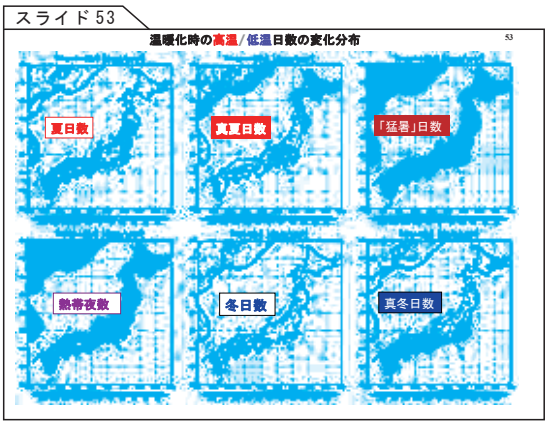
梅雨についても同様のことが言えます（**スライド 52**）。それから真夏日数なども増加します（**スライド 53**）。

真夏日数というのは最高気温が 30℃を超える日の日数です。その増加が 30 日を超えるところを赤、40 日を超えると紫で表していますが、将来はひと月以上、真夏日の日数が増えるということが言えます。夏日（最高気温が 25℃以上となる日）はさらに増えます。

スライド 52



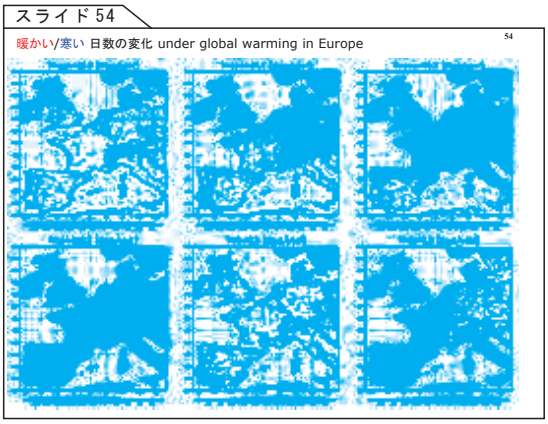
スライド 53



これは日本だけではなく、ヨーロッパに関しても予測されています（**スライド 54**）。この前行ってきたスペインなども、真夏日を見ますと今は 30 日ぐらいですが将来さらに猛暑に見舞われるだろうと思います。それから例えばトルコのあたりも詳しく調べています。

スライド 55 はトルコとの共同研究に関連して、調べられたもので毎月どのくらい変わるかという月毎の、観測結果および現在気候の再現結果です。

スライド 54



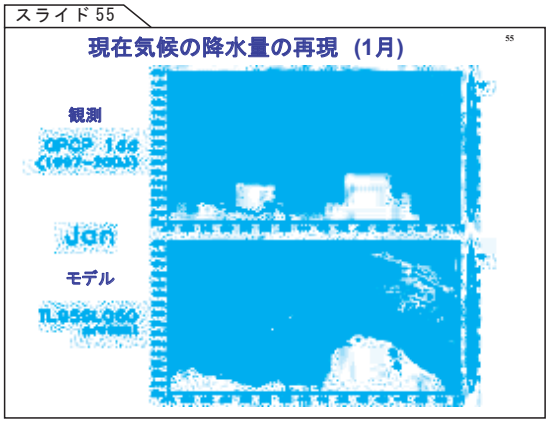
そのようなものを全部まとめます（**スライド 57**）と、観測とモデルの進展によって、最近は情報がより確かになってきているということです。それから、温暖化はもう疑う余地がない。本当に現実化しているということです。それから、原因特定がはっきりしてきたということ。モデルが非常に進んできて詳細な情報が出るようになったということ。それに対して日本から先端・中心的な貢献があったということが言えるかと思います。

なかなか細かい話をするまでの時間がありませんが、このようなことが全般的なお話として、皆様に少しご紹介できればと思っておりました。

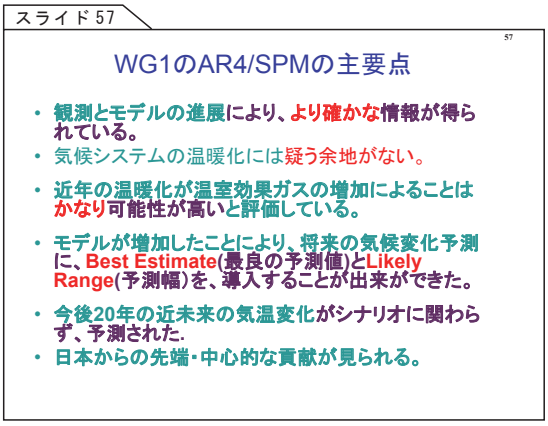
それでは、これぐらいで私の話は終わりたいと思います。

ご清聴ありがとうございました。

スライド 55



スライド 57



パネルディスカッション

第１部：話題提供

パネルディスカッション第１部：話題提供

「台風の発生数や強度の変化に関する話題」

吉村　純（よしむら　じゅん）
気象研究所

要 旨

近年、台風やハリケーンなど（以下、単に台風と呼ぶ）による災害が相次いでいることもあり、地球温暖化の進行にともなって台風の気候学的性質が変化していくのかどうか、社会的な関心が高まっている。台風を発達させる主要なエネルギー源は、海面から蒸発した水蒸気が大気中で凝結して雲粒になる際に放出される膨大な熱である。海水温が上昇するにつれ、大気に含まれる水蒸気量は増大していくと考えられ、海上で発生した台風に供給される水蒸気も増える傾向を持つはずである。このことから、地球温暖化の進行が続くと台風はより強く発達するようになり、それにともなう暴風や大雨が激化する傾向を持つのではないかと考えられる。さらに、風の強まりと中心気圧の低下に加え、平均的な海面水位が上昇することも考えると、台風にともなう高潮も起こりやすくなると思われる。しかし実際の台風活動には、海水温以外に、熱帯大気の平均的な温度構造や上層と下層の風向風速の差など多様な要因が影響しており、地球温暖化の進行にともない、その一部は台風の発生・発達を抑制する方向に働くと見られている。

このようなことから将来の台風の発生数や強度を正しく予測することは容易なことではないが、スーパーコンピュータを用いた気候シミュレーションにより、大気中の複雑な相互作用をまとめて計算し、台風の性質の変化について理解を深めることは可能である。これまでに得られた21 世紀末を想定した地球温暖化シミュレーション結果では、全球的な台風の発生数は減少する一方で、非常に強力な台風については逆に出現頻度が増加するという傾向が示されている。

ご紹介ありがとうございます。吉村です。

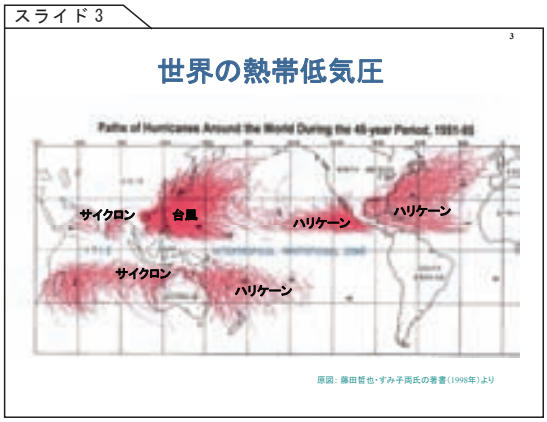
日本で自然災害というと、まずは地震を思い浮かべる人が多いと思いますが、恐らくその次ぐらいに思い浮かぶのが台風だと思います。今日は、地球温暖化がこのまま進行していきますと、台風の発生数やその強さがどのように変化していくのかについて現時点での科学的な理解をご紹介していきたいと思います。

まず、最初に台風に関する基礎知識を簡単にご紹介したいと思います。台風というのは、熱帯地方の海の上で発生する低気圧で、温帯低気圧と違って前線を伴わず、円形に近いような形を持つ、低気圧の種類です。その巨大なエネルギーはどこから来るのかというと水蒸気

です。水蒸気が空気中で凝結して、水滴や氷の粒になる時に熱が出ますが、その熱が台風という巨大な渦のエネルギー源になっています。ハリケーンやサイクロンなどいろいろな種類がありますが、すべて同じような性質を持つもので、気象学の世界では総称して「熱帯低気圧」と呼んでいます。

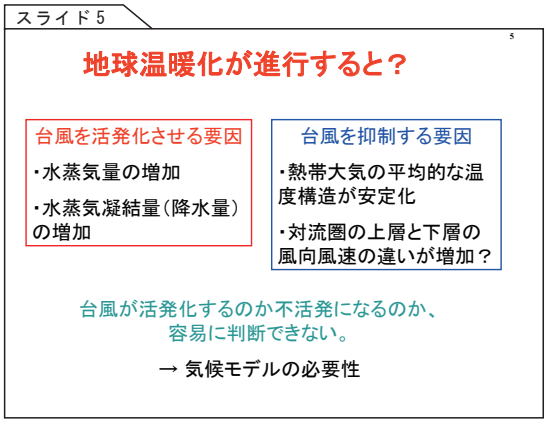
日本人におなじみの台風ですが、世界中のかなり広い地域の熱帯の海の上で発生するもので、**スライド 3** は、過去数十年間に世界中で発生した熱帯低気圧の経路を全て描いた図です。我々の東アジアや東南アジアにやってくるのは「台風」と呼んでいて、太平洋の東側や大西洋の方は「ハリケーン」と呼んでいます。また、南太平洋でも「ハリケーン」と呼んでいます。しかし、インド洋やオーストラリアの辺りでは、これといった名前があまりないのですが、「サイクロン」と呼ばれることが多いです。先週の金曜日（2007 年 11 月 16 日）に、バングラデシュにもサイクロンが直撃してかなり深刻な被害があったようです。まだ被害の全貌はわからないということですが、死者数は 1 万人になるのではないかと報道されていました。今日の講演では、あまりサイクロンとかハリケーンとか区別せずに、まとめて台風と表現したいと思います。

スライド 3



さて、本論に入りますが、地球温暖化が今既に進んでいます。この先、21 世紀の間、どんどん地球温暖化が進行していくとどうなるのか（**スライド 5**）。先ほど申し上げたように、台風のエネルギー源は水蒸気が凝結する時の熱です。今後、温暖化が進行していくと、大気中で凝結する水蒸気の量が増え、今後 100 年で数%ぐらい増えるのではないかと計算されています。そうすると、水滴ができて雨の量、降水量も増えることになります。台風を熱エンジンと考えると、そこに供給される燃料が増えることを意味するわけですので、これまでには考えられなかったような強い台風ができて、大規模な暴風災害、豪雨災害がもたらされるのではないかと考えることができます。ただこれは頭の中で考えただけでして、いろいろ実際には考えるべきことがあります。

スライド 5



スライド 5 の左側の枠に今申し上げた台風を活発化させる要因があります。要因としては水蒸気の凝結量が増えるということもありますし、一定の空気中に含まれる水蒸気の量も多分 10 数%ぐらい増えると思います。そうすると、台風ができた時に、たくさんの水蒸気がそこに供給されることになり、それが強く発達したり、強い雨が降ってきたりというような原因になるわけです。

一方、右側の枠に書いてある、台風の活動を抑えるような、弱くするような要因というのもあります。多分大きいと思うのは、大気の温度構造が変わることだと思います。それは熱帯の

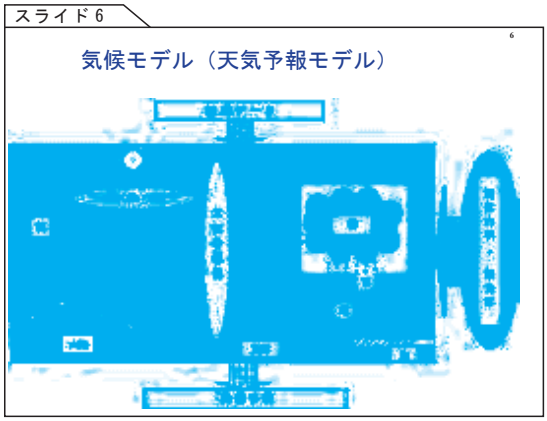
大気で対流が起こることで、温度構造が調節されているわけですが、その仕組みを考えると、大気の温度構造が安定化すると考えられています。それは、地上付近の温度が上がるよりも上空、対流圏の上の方の温度の上昇率の方が大きくなるだろうと考えられています。お風呂のお湯を沸かした時のようなもので、上の方がより暖かくなって空気が混ざりにくくなり、安定化するというような効果があると考えられます。もう一つ、対流圏、大気の下層から上層 10km、10 数 km ぐらいまでの上層と下層で、風の向きや風の速さが全然違うといったことがありますと、その中で発達する台風がつぶれてしまう、空間構造が壊されてしまって、発生しにくくなる、あるいは発達しにくくなるというような効果があると考えられています。

地球温暖化で、本当に上層と下層の風の違いが大きくなるのかというのがよくわからないのですが、これまで発表された論文では、北大西洋の一部の海域でこのような上下の風の違いが深刻になって、それがハリケーンの活動を抑える方に働くのではないかと言われたりしています。

簡単に挙げるだけでも、このような２つの効果があり、地球温暖化の進行に伴って台風が活発になるのか、それとも不活発になるのかというのは、簡単には判断できないということです。ただ、わからないと言っていても、世間様からは許していただけません。そこで、何か計算して理解を深めなければいけないため、一番下に書いてある気候モデルと呼ばれるコンピュータで走らせるモデルを我々の研究グループも使っていますし、世界中の他の研究グループでも使って、理解・研究を進めているところです。

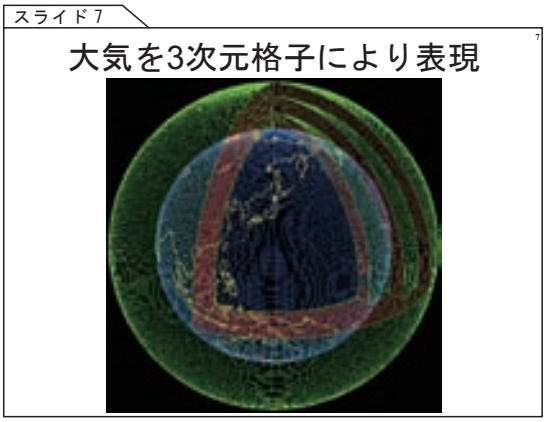
スライド６は、気候モデルの仕組みを模式的に非常に大雑把に紹介したものです。コンピュータの中で流体力学とか熱力学とかいう物理学の法則を応用した方程式を立てます。空気の運動や空気中に含まれる水蒸気、水蒸気が凝結して雲になって、そこから雨や雪が降ったり、あるいは、海から水が蒸発したり、また、陸の方にも雨が降って蒸発したりします。もちろんエネルギー源で太陽から来る太陽放射もあるし、地球から宇宙に逃げていく赤外線の放射というのもあります。このような複雑な式を全部コンピュータの中でまとめて計算してやると、複雑な相互作用を、完璧ではないにしても、一応総合的に計算していることになるので、平均的に台風が強くなるとか、弱くなるとか、などについても計算できるはずだということになります。

スライド６



スライド７は、コンピュータの中でどのように表現しているかということの一例です。これは模式図ですが、地球全体の大気を３次元に区切ります。東西方向、南北方向に区切り、鉛直方向（上下方向）にも区切ります。このように３次元的に区切って格子にして、それぞれの格

スライド７



子点で、風向や風速、気温や水蒸気量などを定義して、時間的な変化を計算していくというようなやり方になります。

気候モデル（**スライド 8**）、すなわちコンピュータ上で走らせるプログラムなのですが、これは先ほどお話したようなことです。大気を区切るだけではなくて海洋を区切ったようなモデルというのもまた別にあり、海と大気と一度に計算するようなモデルというのもあります。これは気象庁でも行っている天気予報に使っているコンピュータのプログラムと基本的に同じものです。

スライド 8

明日の天気予報だったら、それを 24 時間分走らせればいいわけですが、地球温暖化とか、そのような気候変動を計算するためには、何十年とか、何百年とかいう計算をしないといけないわけです。その長い時間における平均的な大気の状態というのがまさに気候ですので、それで気候を計算することができるということです。

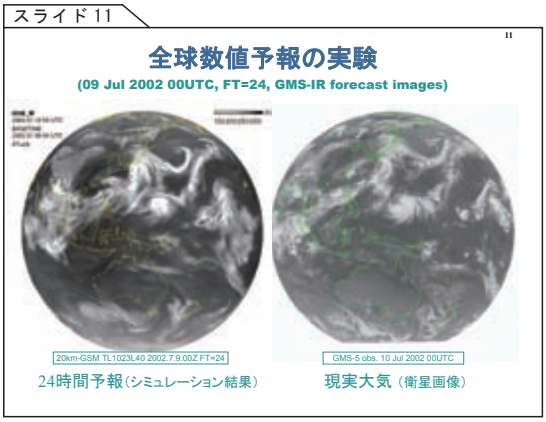
３次元の格子に区切ると言いましたが、粗い区切り方でしたら、割合簡単に計算でき、最近のパソコンでも走らせることができるぐらいのプログラムです。それは平均的な気温の上昇などを計算するのにはよいのですが、台風というのは非常に空間構造の細かいもので、台風の目だと何十 km ぐらいしかないですし、その周りをぐるぐるとすごく強い風が巻いていて、筒状の壁雲というすごい積乱雲があり、その周りを取り囲む雲も、螺旋のような形をしているなど、非常に複雑な構造をしているので、格子の粗いモデルだと非常に大雑把な表現しかできないということになります。

したがって、格子を細かくしなければならないので、今でも世界一だと思いますが、我々の研究グループの地球温暖化予測では、水平方向の格子の間隔が 20km ぐらいという、細かいモデルを使って計算しています。

ところが、そのためには、膨大な計算をしなければならないので、先ほど近藤先生からもご紹介があったように、地球シミュレータという巨大なスーパーコンピュータ（**スライド 10**）を使っています。これは日本の国家プロジェクトとして開発されたもので、海洋研究開発機構が持っている、体育館みたいな広いところに、普通のパソコンとは全然違うようなベクトル型のスーパーコンピュータを大量に並べて、一緒に計算しているというものです。床下はスライド 10 の左下写真のようになっているらしいです。

スライド 10

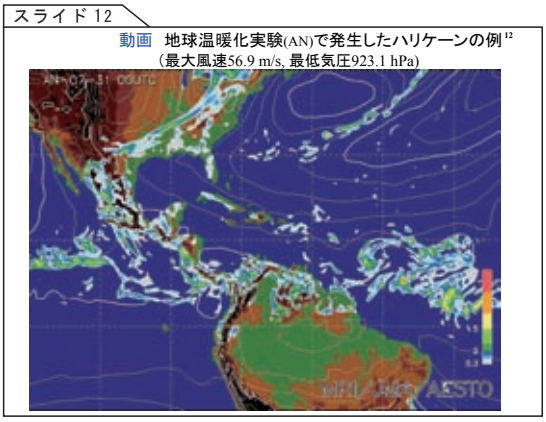
スライド 11



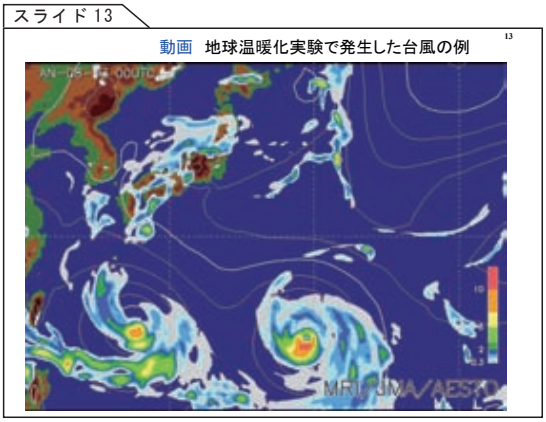
とにかく巨大なコンピュータを使わせてもらって気候モデルの計算をします。先ほど天気予報の計算もできると申し上げましたが、**スライド 11** は、天気予報の実験をした例です。左側がモデルを用いてコンピュータで 24 時間先の計算をした雲の分布です。右側が実際に人工衛星ひまわりから撮影した雲の画像です。左右を比べてみると、細かいところには違いがありますが、大雑把には雲の分布がかなりよく再現されています。これは 24 時間の計算、24 時間の天気予報がうまくいったということになります。

24 時間ではなくて、もっと長時間の計算をするのが、我々の気候モデルの計算で、**スライド 12** は、地球温暖化の実験結果です。21 世紀の終わりくらいに、海面水温が高くなり、大気中の二酸化炭素濃度が高くなるという状況をモデルに与えます。これを基にして地球全体の大気の計算を 10 年とか 20 年行います。スライド 12 は、その一部分だけを切り取ったもので、北アメリカ大陸、南アメリカ大陸、大西洋、太平洋が現れていますが、色が着いて〝もやもや〟しているところが、雨が降っているところです。色が濃いところは強い雨が降っているところです。積乱雲が渦を巻いて、このようなハリケーンが発生するというようなものが、コンピュータの中で自動的に計算されます。ちなみに、このメキシコ湾を北上しているものは、「カトリーナ」（注：2005 年 8 月にアメリカ南部を襲った最大級のハリケーン）となぜか非常によく似ていますが、21 世紀の終わり頃の条件ですので、直接の関係はありません。

スライド 12

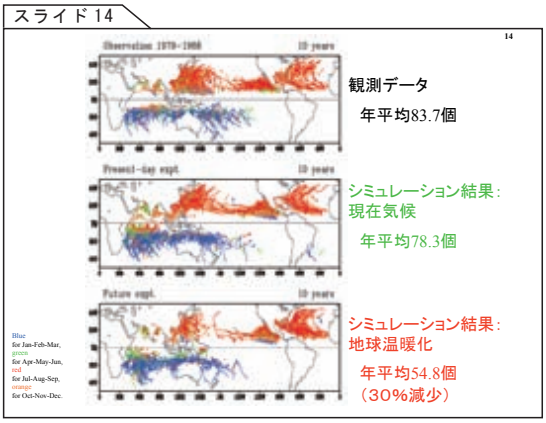


スライド 13



スライド 13 は、同じような地球温暖化の実験結果で、別の部分を切り取ったものです。日本の南の海の上でも積乱雲が渦を巻いて台風が発達します。これはちょうど九州を直撃した例で、その次はたしか首都圏を直撃したと思います。ただ、これは地球温暖化のシミュレーションですが天気予報ではないので、九州が危ないとか、首都圏が危ないとか、そういうことを意味するわけではありません。このシミュレーションでは、平均的に見て強い台風ができやすいとか、平均的に見て数が増えるとか、減るなどの情報に意味があります。個別の情報に意味があるわけではないということです。

スライド 14



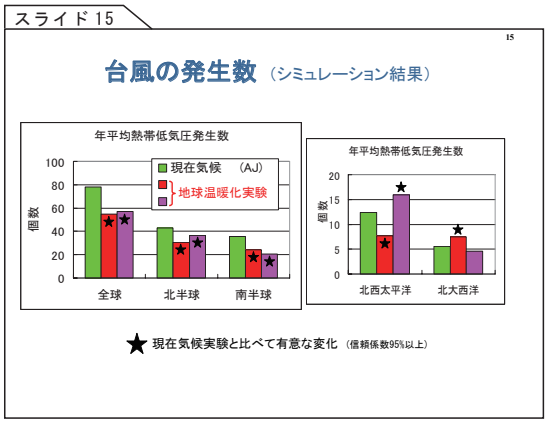
それでは平均的に見てどうかということを、簡単に我々の研究結果でご紹介していきたいと思います（**スライド 14**）。真ん中の図は、地球全体に

ついて、20 世紀の終わりぐらいの気候の条件を与えたシミュレーション結果における台風や熱帯低気圧の経路をまとめて示したものです。色の違いは、季節の違いで、赤色は北半球の夏から秋にかけて、青色は南半球の夏から秋にかけてです。一番上の図は観測データで、実際の大気中で発生したものです。細かい違いはあるにしても、大雑把には非常によく似ていて、観測データを直接的にはほとんど入れていないにもかかわらず、これだけ現実とよく似たものが再現できています。これは、我々のモデルが非常に現実の大気に近い性質を表現できているという、モデルの能力の高さを示しているものです。一番下の図は地球温暖化実験の結果で、21 世紀の終わりぐらいの条件を与えて計算した結果です。大雑把な地理的な分布を見ると、現在気候と将来気候であまり変わりませんが、数が大きく違います。発生数は、現在気候で年平均 78 個ぐらいであったものが、温暖化実験では３割ぐらい減って、年平均 55 個ぐらいであったというものです。これは恐らく熱帯の大気の構造が安定化したから、発生した数としては減っているのだろうと考えています。

スライド 15 は、熱帯低気圧の発生数と台風（注：北西太平洋の熱帯低気圧）の発生数を棒グラフで示したものです。赤色と紫色で示されているのが地球温暖化実験で、現在気候に比べて明らかに減っています。ただし、ある海域だけに限ってみると、必ずしも減るとは限らないので、その辺がどういう条件で実験をするかによって答えが違ってきてしまうので、かなり難しい話ではあります。

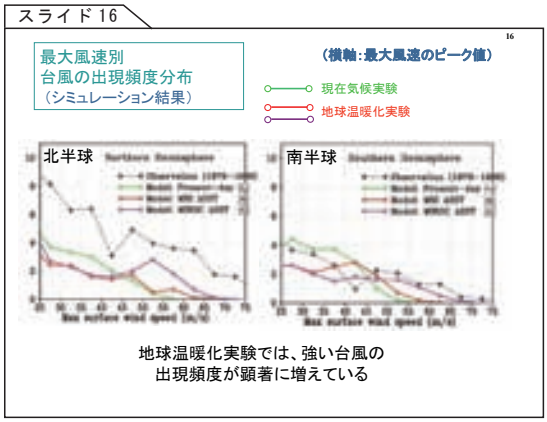
数が減るというだけで災害が減るのかと期待したくなりますが、そうは期待できないというのがこれからの話です。

スライド 15



スライド 16 は、横軸が台風の強さで、最大風速で示しています。台風の強さ別に頻度を縦軸に書いてあります。赤色と紫色の２本の濃く書いてある線が温暖化実験の結果です。全体的な数は減るけれども非常に強いケース、この場合だと、最大風速が 45 m /s とか 50 m /s を超えるようなすごく強い台風は、現在気候実験（緑色の線）に比べて明らかに増えています。自然災害は、このような強い台風やハリケーンが来た時に深刻化するわけですから、このシミュレーション結果は、台風の災害が深刻化する可能性があるということを示していることになります。

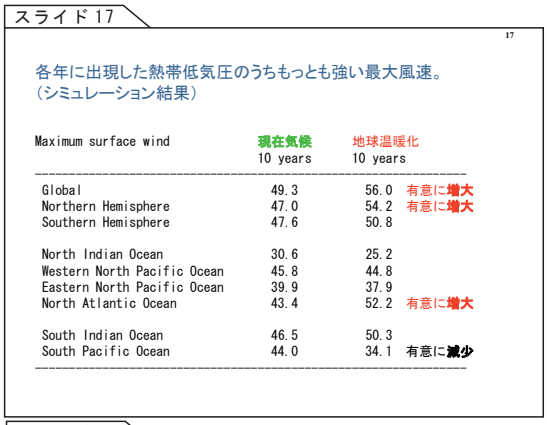
スライド 16



強い台風が問題だということなので、**スライド 17** を紹介します。10 年分のシミュレーション結果の中で一番強い台風、一番強いハリケーンをピックアップして、それらの風速を見たものです。現在気候実験だと 49 m /s ぐらいの強さだったのが、地球温暖化実験では 56 m /s であり、統計的な検定をしてみると、明らかに強くなっています。先ほどの災害が深刻化するかもしれないということを、こちらも裏付けています。

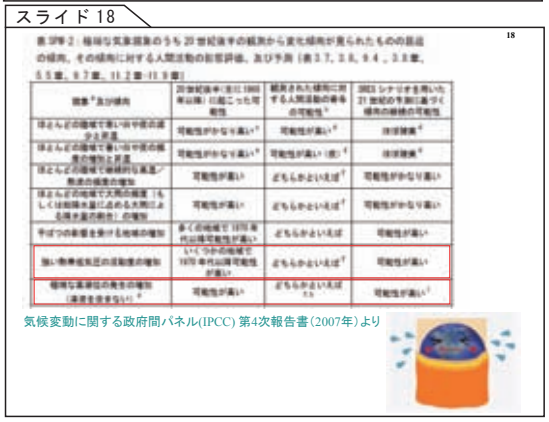
スライド 18 は、先ほど基調講演で近藤先生から紹介があったＩＰＣＣの最新の報告書の一部分ですが、ここでも我々の研究結果や別のグループの研究結果も含めて、極端な気象現象がどのように変化するかということがまとめられています。下から２段目のところに強い熱帯低気圧、いわゆる台風やハリケーンの変化についてあります。まず将来、21 世紀の予測として、強い熱帯低気圧が活発化する可能性が高いとなっています。これはシミュレーションの結果や理論的な計算の結果などによるものです。また、議論が分かれるところで、20 世紀の後半というか、最近 30 年、40 年ぐらいに強い熱帯低気圧が既に増えているのではないかという話もあり、ここでは幾つかの地域で 1970 年以降、強い台風が増えている可能性が高いとなっています。北大西洋では確かに強いものが、1995 年以降増えていると言われていますが、それ以外の海域、北西太平洋の海域や他の地域だと、データによって結果が違ったりしているのでよくわかりません。増えているというデータも少し怪しいのではないかという話もあり、専門家の間でもまだ議論は決着していない部分です。

スライド 17



Maximum surface wind	現在気候 10 years	地球温暖化 10 years	
Global	49.3	56.0	有意に増大
Northern Hemisphere	47.0	54.2	有意に増大
Southern Hemisphere	47.6	50.8	
North Indian Ocean	30.6	25.2	
Western North Pacific Ocean	45.8	44.8	
Eastern North Pacific Ocean	39.9	37.9	
North Atlantic Ocean	43.4	52.2	有意に増大
South Indian Ocean	46.5	50.3	
South Pacific Ocean	44.0	34.1	有意に減少

スライド 18



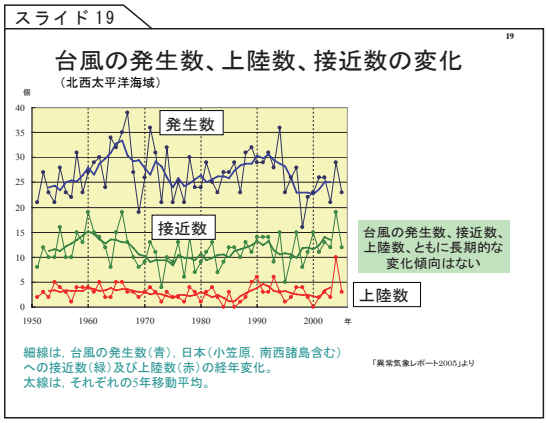
一番下の段が、極端な高潮位、つまり高潮が増加するかどうかです。これには津波は含まれず、熱帯低気圧のほか温帯低気圧関連も含んでいると思いますが、過去にも将来にも、高潮が増える可能性が高いとなっています。これは台風が強くなるばかりでなく、平均的な海面水位も上がりますので、余計に深刻化するのではないかと心配されるところです。

スライド 19 が、北西太平洋の台風の発生数、接近数、上陸数の変化を示したグラフです。いずれもそれほど変化をしている様子はないので、今のところは変化しているかどうかはよくわかりませんが、将来は心配であるという結論です。

まとめますと、地球温暖化は既に進行しつつありますが、台風やハリケーンの活動に影響を与えつつあるかどうかについては、まだ結論は出ないところです。しかし、地球シミュレータを使った大気シミュレーションによると、今後非常に強い勢力を持つ台風等の出現が増えると予測されます。地球温暖化を抑制し、それと同時に従来型の防災対策を強化していくこと、さらに我々もがんばって科学的な研究も深めていかなければならないと考えています。以上で私の講演は終わりにしたいと思います。

ご清聴ありがとうございました。

スライド 19



パネルディスカッション第１部：話題提供

「ヒートアイランド現象に関する話題」

三上　岳彦（みかみ たけひこ）

首都大学東京

要 旨

東京都心部の年平均気温は、過去 100 年間に約 3℃上昇しており、地球温暖化による気温上昇分を差し引いても約 2℃の上昇を示している。都心部と郊外の気温差は、夜間から早朝にかけて拡大し、冬季の静穏な晴天夜間には西郊の多摩・八王子地区と都心部の気温差は時に６～８℃に達する。都心部では、夏季の夜間気温が 25℃を下回らない熱帯夜の日数も近年増加傾向にあり、年間 30 ～ 40 日になっている。また、夏季日中の高温化も顕著になっており、真夏日の目安とされる気温 30℃を超える延べ時間数は、東京都心部の場合、この 20 年間で倍増している。また、日最高気温が 35℃以上の猛暑日も増加傾向にある。

一方、夏季の午後に雷雨を伴った局地的な集中豪雨が発生する頻度も近年は高まっており、ヒートアイランドも引き金の役割を果たしている可能性が高い。特に、1 時間 100mm を超すような猛烈な豪雨の発生で、都市河川の氾濫による住宅の浸水被害も増加傾向にある。都市型集中豪雨の発生メカニズムは、まだ十分に解明されていないが、海風の収束や高層ビル群による上昇流の強化も都市型豪雨増加を促進している可能性が高い。

ヒートアイランド緩和対策としては、人工排熱の抑制（省エネ）や都市構造の改変（透水･保水性舗装、屋上緑化など）が挙げられるが、最も効果的なのは公園緑地の整備等による大規模な緑化であろう。

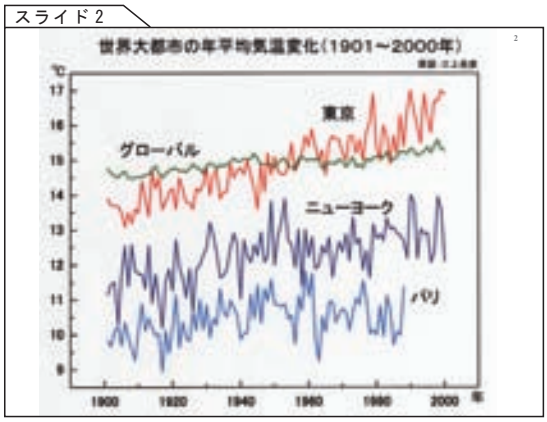
それでは始めさせていただきたいと思います。

今までの話は、地球温暖化というか、グローバルなお話が中心でしたが、私の話は都市に限った話で、特に副題として、「都市の気候変動と都市型豪雨」ということです。今日の全体のテーマが気候変動と自然災害ということですが、特に都市の災害の中で最近、都市型豪雨と言われているものに、いろいろ関心が集められていますので、その辺の話を後半でしたいと思います。

まず、先ほど地球温暖化ということで、ＩＰＣＣで地球の平均気温が過去 100 年で 0.7℃とか上昇しているというお話がありました。**スライド 2** のグラフに「グローバル」と書いてありますのが、20 世紀 100 年間での地球の平均気温の上昇であり、これが 100 年間で約

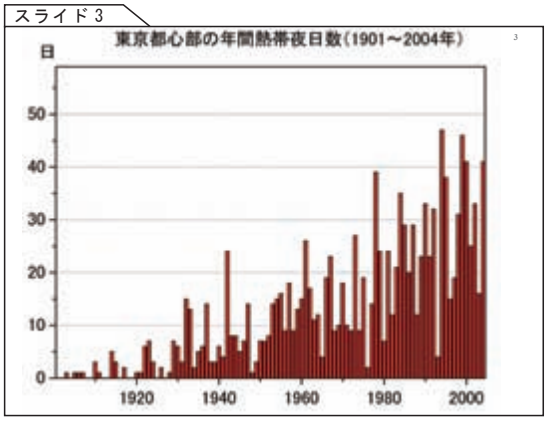
0.7℃程度ということです。「東京」の値は大手町にある気象庁での１年間の平均気温を単純にそのままグラフにしたもので、100年間で約３℃の上昇ということです。そのほかニューヨークやパリなどの大都市のグラフも示しましたが、東京の都心部の気温上昇というのが非常に大きいということがわかると思います。

スライド２



先ほどのものは１年間の平均の気温ですが、特に100年というスケールで見ると、最低気温の上昇、つまり、夜間から早朝の気温の上昇というのが非常に顕著です。夜間から早朝の気温の上昇ということは、別の言い方をすると、例えば熱帯夜（最低気温が25℃以下にならない）の日数が増えているということを意味しています。**スライド３**のグラフのように、東京都心部の年間の熱帯夜の日数は、この100年間で一方的に増え続けています。もちろん年による差はあります。これは別にヒートアイランドとか関係なく、もっとグローバルな気象的な要因が効いています。このように東京の気温というのが、顕著に上昇しています。そのようなヒートアイランドの原因、メカニズムは何であろうかということで、大きく３つほどお話したいと思います。

スライド３



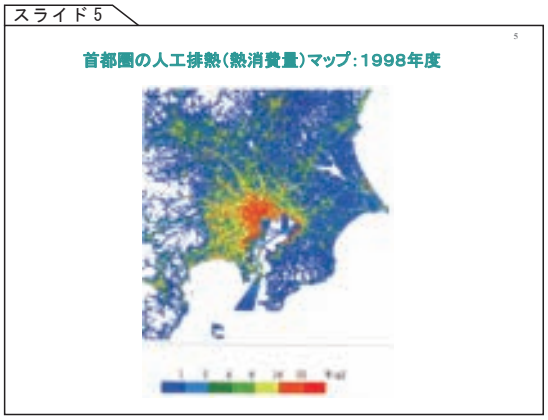
まず、都心部を中心とする人工排熱の増加による大気の直接加熱ということがあります。これは後で図をお見せしますが、人工的に出される熱にはいろいろあります。工場からの排熱や車からの排熱もありますし、そのようなものが東京の区部では年間平均して１㎡当り約24Wという値になります。これは東京地域で受け取る年間の日射量の20%にも相当するので、このような人工的な熱が、都市の大気を暖めているということが第一にあります。

それからもう１つは、都市の地表面の人工化ということです。都市というものはコンクリートやアスファルトなどの人工的なもので表面が覆われていくので、それによる熱収支の変化が起こります。わかりやすく言うと、例えば夏の昼間など、日射のエネルギーをアスファルトなどが蓄熱して、それを夜間に放熱するというようなことがあります。このようなことが最低気温を上昇させ、熱帯夜を増やすということにもなります。

それから、今の話と裏腹のことですが、都市に人工的なものが増えるということは、逆に緑や水辺空間といった自然的なものが減るということです。これは例えば、蒸発による潜熱を減らすということで、このようなことも都市を温暖化させる大きな原因になっています。もちろん都市もCO_2のような温室効果ガスが増えていますから、それによる影響も少しはありますが、大きくはこの３つが原因になって都市を暖めているということになります。

先ほど人工排熱ということを申し上げましたが、**スライド５**の図は、首都圏の人工排熱がどのくらいかを示した推計値で、１年間平均した首都圏での人工排熱をマップにしたものです。やはり都心部が圧倒的に大きくて、一番大きいところで都心部は１㎡当り 32W です。先ほど言いましたように、区部平均は 24W というかなり膨大な人工的な熱が出ています。それに対して、青い部分はほとんど１W 以下ですから、このようなところは人工的な排熱がほとんどありません。やはり都心部で非常に人工排熱が多いということが、ヒートアイランドの原因になっているわけです。

スライド５

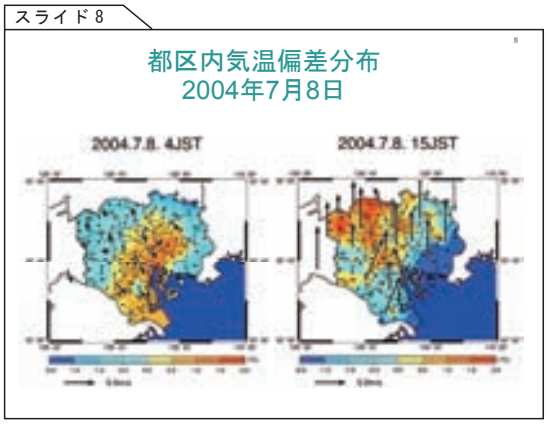


そこで、このような人工排熱の分布と実際の気温はどうなっているのかということですが、それを調べるために、首都大学東京（旧東京都立大学）と東京都環境科学研究所と共同で東京都 23 区内に、非常に高精度で高密度の気象観測システムというものを独自に設けました。これを我々は「METROS（Metropolitan Environmental Temperature and Rainfall Observation System）」と呼んでいます。2002 年度から３年間にわたって、ビルの屋上 20 ヵ所に、ほぼアメダスに相当する高精度な気象観測装置を取り付けました（METROS20）。これは主に風を測ることが目的です。それからもう１つは、100 ヶ所の小学校の百葉箱を借りて、小型の自動温度記録装置を取り付けるというようなことをしました（METROS100）。**スライド７**がその分布ですが、23 区内合計 120 ヵ所、非常に密度の高い観測点を設けたわけです。

スライド７

その結果の一部が**スライド８**です。図では、温度の高いところが赤く表示されています。左側は３年前の 2004 年７月８日午前４時の分布です。午前４時といいますと、大体４時から５時のあたりが夏の場合は最低気温が出ますから、そのような最低気温が出る時刻の気温の分布です。右側は同じ日の午後３時の分布です。２時から３時に最高気温が出ますから、夏の一番暑い時期です。いずれも、この全体のエリアの平均値に対して何度高いか、低いかという、偏差という形で表示しています。また、矢印は風をベクトルで表示しています。矢印の方向に風が吹いていて、矢印が長いほど風速が強いことを示しています。

スライド８

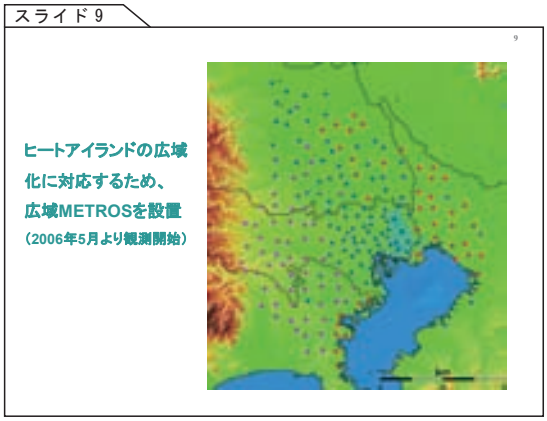


明け方の気温分布を見ますと、都心部が高くて周りに行くほど低いという状況になっていま

す。これは、先ほどお見せした人工排熱の分布と非常に似ていまして、やはり人工排熱が大きいところが高温になっているという、典型的なヒートアイランドを示しています。それに対して、右側は午後３時ですが、だいぶ様相が違います。もちろん都心部にも高いところはありますが、高温の中心は東京の北西部の方に移ります。同時に、非常に強い南風が東京都全域を覆う形で、夏の季節風もありますが、海からの風、いわゆる海風が東京全域に吹いているという状況を示しています。そのために、恐らく本来の人工排熱の中心は都心部で、そのような熱が風下の方に流されて行く（「移流」と言っていますが、）と考えています。

「METROS」については2004年度で観測を終え、それ以降は少しエリアを拡大して観測を続けています。と言いますのは、先ほどのエリアは23区内だけでしたので、実際例えば北西部にいったとしても、これがここだけでとどまるのか、あるいはもう少し北の方までいくのかというところがよくわかりません。したがって、昨年度から「広域METROS」（**スライド9**）といいまして、エリアを全部で200ヶ所の広い範囲にわたって、10分ごとの気温の測定をしています。

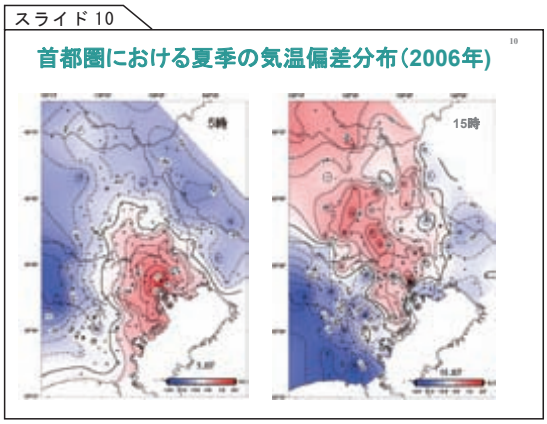
スライド9



その結果の一部が**スライド10**に出ております。左側が明け方で午前５時、右側が午後３時です。左側が最低気温の出る時刻、右側が最高気温の出る時刻と考えていただければいいと思います。

パターンとしては先ほどと非常に似ていますが、先ほどはエリアが23区内だけでしたから、その全体の状況はわかりませんでした。このように広域で見ますと、やはり明け方の最低気温は、同心円状の人工排熱に対応したような分布になっていることがわかります。風もこの時刻は非常に弱くなっています。それに対して、午後３時になると、東京湾あるいは相模湾から海風が侵入します。特にこの相模湾からの海風は非常に強力で、神奈川県の辺りは、非常に気温の上昇が抑えられているということがわかります。それから千葉県の辺りも同様です。見かけ上、この両方に挟まれた東京の都心部から埼玉方面にかけてが、非常に高温な状態が続いているということです。先ほどの東京北西部の高温域は、さらに埼玉の方にまでつながって、よく言われるように熊谷の付近にまで、連続的に高温域がつながっているという状況がわかります。このように気温が高いということだけでしたら、「暑いな」で終わってしまうのですが、このように特に東京北西部の高温が１つの引き金になって、都市型の豪雨を引き起こすのではないかということが言われています。

スライド10



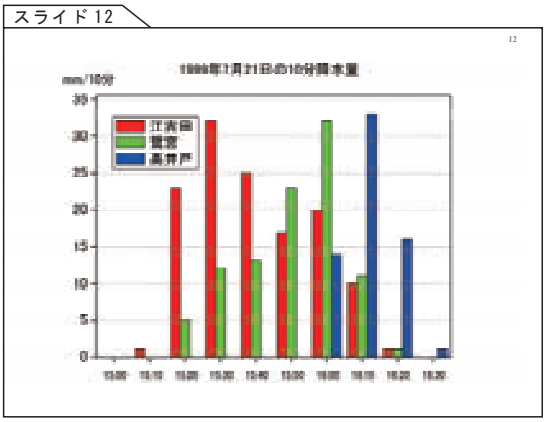
これからはその都市型豪雨による災害の問題に移っていきます。**スライド11**は少し古いの

ですが、1999 年 7 月 21 日、午後 3 時から 4 時にかけてアメダスのデータによる 1 時間雨量の分布を示したものです。実は、この中心部で 1 時間 91 ㎜という雨が降っているのですが、その周辺は全く降っていないという状況です。実際もっと密なデータによりますと、練馬の付近では最大 1 時間 131 ㎜というものすごい豪雨が降っていました。この都市型豪雨の特徴の 1 つは、過去の例を調べてみますと、大体北西部に比較的偏って起こるということです。

スライド 11

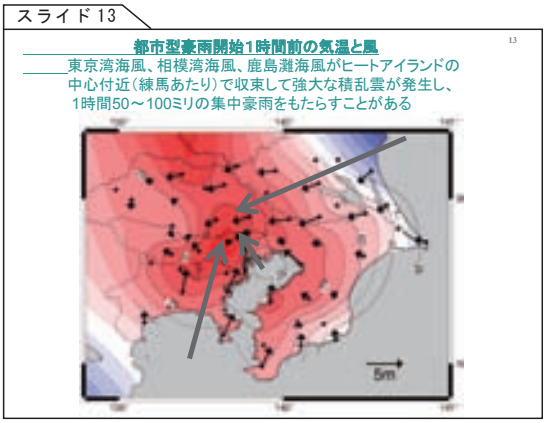
スライド 12 は、先ほどの通称「練馬豪雨」と言われている 1999 年 7 月 21 日の 10 分雨量を地点別に示したものです。グラフに、中野区の江古田、鷺宮、杉並区の高井戸という地名がありますが、各地点での 10 分間降水量を示しています。降り方を見ますと、最初に 3 時 20 分から 30 分にかけて、最大 10 分間降水量が 32 ㎜というものすごい雨が江古田で一旦降ります。それが少し弱まった後、今度は鷺宮で少し遅れて、やはり 30 何㎜という 10 分間降水量を記録し、次に高井戸で少し遅れて降りました。このように、非常に狭い範囲でしかも場所を変えて、頻繁に豪雨が起こっています。マスコミではこういうのを「ゲリラ豪雨」と呼んだりしますが、非常に狭い範囲で短時間に場所を変えて降ってくるという、特徴的な豪雨が発生しています。

スライド 12



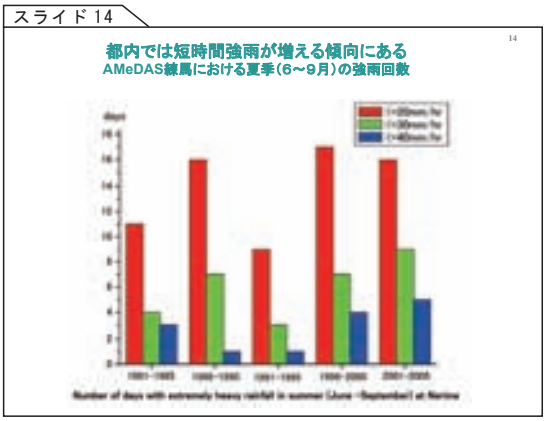
このような特徴的な集中豪雨がどうして起こるかについては、まだ完全に原因は解明されていませんが、幾つか形成要因として考えられることがあります。その中で 1 つ重要なこととしては、このような集中豪雨が降る 1 時間ほど前に、その付近がヒートアイランドの中心になっているということです。**スライド 13** は、過去 20 年間で 15 例ぐらい起こった、東京都内に中心を持つ都市型豪雨の発生 1 時間前の風と気温の状況を平均化して示したものですが、やはりその 1 時間前に、練馬付近がヒートアイランドの中心になっています。それから風に注目しますと、1 つは東京湾からの風、また、相模湾からの風、それから鹿島灘方面からの風というように、方向が違った海風がここで収束しています。それによって、非常に強い上昇流を起こして、積乱雲を発達させているということが考えられます。もちろん、この他に、全体としては大気が不安定な状態、例えば熱帯低気圧が南の方にあるとか、北の方に前線がかかって北から寒気が来ているとか、いろいろな条件がある中で、このように

スライド 13



豪雨の発生が起こると考えられています。

スライド 14



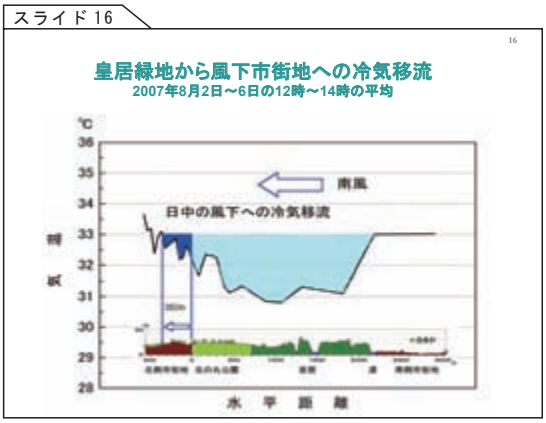
それでは、このような集中豪雨が最近増えているのかどうかですが、実はなかなか難しいのです。というのは、1つは長期間にデータが残っている地点が非常に少ないということがあります。**スライド 14** は、比較的都市型豪雨の中心となりやすい練馬のアメダスデータを使って、1981 年以降、５年ごとに時間雨量が何 mm の雨がどのぐらいの回数になっているかというのを見たものです。１時間に 20mm（赤色）は結構強い雨ですが、少し増えているといえば増えています。１時間 30mm（緑色）も少し増えているように見えます。さらに１時間 40mm（青色）になるとかなり増えています。時間雨量が大きくなるほど、全体の回数は減りますが、短時間強雨は、最近増える傾向にあるということが、１つ言えるのではないかと思います。

話が変わりますが、このような都市型豪雨をどのようにしたら防ぐことができるかということは、非常に難しい問題です。地球温暖化と同じで、やはり全体としてその温暖化を食い止めるにはどうするか、都市の場合も高温化を食い止めるにはどうするかということです。その１つの策として我々がもう１つ取り組んでいるのが緑化です。先ほど言いましたように、都市部は緑地や水面が非常に減っていますので、大規模な緑地を有効利用する、あるいはできれば保全拡大していくということです。昨年から我々の研究室では都市内の大規模緑地について研究を行ってきています。どのくらい冷却効果があるかを示した新聞の紹介記事が、**スライド 15** です。今年の夏、暑かったのですが、その時に皇居で実際に測ってみますと、周辺では最大で４℃の温度差がありました。それだけではなくて、無風でも夜間に冷気が周辺に流出する現象があって、これが周辺 250 m ぐらいを冷却する効果があったということが、実際の測定結果で出てきました。

スライド 15

毎日新聞2007年10月5日

スライド 16



スライド 16 にその断面図を示しますが、先ほども言いましたように、このように大規模な緑地では日中、南寄りの風が吹きます。真ん中が皇居の中で、左端が北側の市街地です。皇居

の中は周辺市街地と温度差が２℃ありますが、この冷たい空気が風下側、約 350 m ぐらいまで風による効果で出ていくというようなことがわかりました。

このように大規模な緑地を保全、活用していくというようなことも、ヒートアイランドの緩和には重要であるのではないかと思っています。全体でもちろん地球温暖化という問題もありますが、東京の場合は、100 年間の気温上昇３℃のうち、２℃が都市の効果だと考えています。そのような意味では、都市のこのような高温化、さらには集中豪雨を減らしていくためには、こうした緩和対策を並行してやっていかなければいけないのではないかと思っています。

以上で私の話を終わりたいと思います。

パネルディスカッション第１部：話題提供

「都市化・逆都市化と都市が抱えるリスクの変化」

加藤　孝明（かとう　たかあき）

東京大学

要 旨

大地震と大規模水害が都市における自然災害ハザードとして重視されている。いずれも甚大な被害が想定されている。被害を大きくする要因はハザードが大きいことはもちろんではあるが、都市側に存在する構造的な問題の方がむしろ大きい。高密かつ広域な市街地の存在、都市生活を支える多様な大規模システムの存在、そして、都市という人工空間を盲目的に安全と考える多数の市民の存在、等である。都市化、近代化とともに都市構造、市街地状況と自然災害リスクの関係は更に強いものとなる。

こうした関係をふまえれば、都市化の過程において自然災害リスクの制御を意識しておくことが望ましいが、日本の都市を含め、ほとんどの都市では、その都市化の過程でリスクの制御に失敗してきた。そもそもそうした発想が見られなかった、或いは、それを考える余裕がなかった結果である。

現在の日本は人口の減少期に入っており、市街地の縮減も視野に入りつつある。都市化と同様、いわゆる逆都市化においては、市街地の縮減の方法如何によっては、都市が抱えるリスクを減少させることが可能と思われる。都市化において犯した失敗を取り返す機会と位置づけられる。

また、最近の異常気象の常態化、さらに温暖化による水位上昇をふまえると、関東平野、濃尾平野に存在するゼロメートル地帯に密集した市街地が広域にひろがる市街地（「広域ゼロメートル市街地」と呼ぶ）では、従来のハザードを押さえ込もうとする発想だけでは立ち行かない状況になっていると思われる。ハザードと受け流す都市、市街地、都市生活のあり方を創造的に構想する必要がある。

東京大学の加藤です。よろしくお願いいたします。

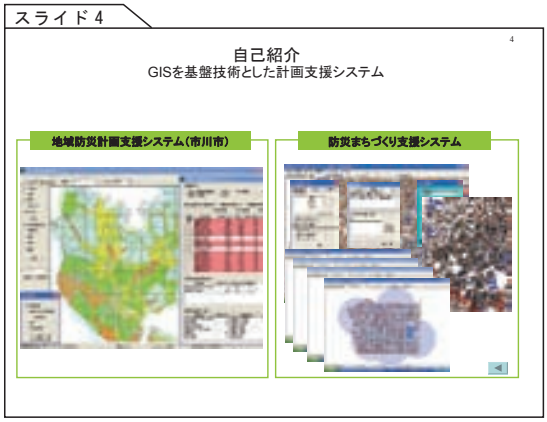
今日は「都市化・逆都市化と都市が抱えるリスクの変化」というテーマでお話させていただきたいと思います。これまで３人の先生方の非常に科学的、かつ実証的なお話が続きました。私は理学系ではなくて、工学系の都市計画を専門にしていまして、今日の話は先ほどのお三方の先生方のお話とは違って、抽象的でややおぼろげな話をしたいと考えています。

この後、ディスカッションがありますので、そのディスカッションの前振りとして、私の基本的なスタンスを皆さんに説明させていただいて、その後、本題に入っていきたいと考えています。

私は、(東京大学) 工学系研究科の都市工学専攻というところに所属しております。都市計画、それからまちづくりを専門にこれまで研究をしてきております。この大学の都市工学専攻というところは、大勢の都市計画の先生が所属しており、それぞれの先生方がさらに細分化したテーマで仕事や研究をなさっています。その中で私は、これまで、安全、安心という視点を中心に研究をしておりまして、ごくごく最近まで、地震災害に対して安全なまちをいかにつくっていくのかということをテーマに研究を進めてまいりました。ただ、ここ３年、４年、地球環境変化、そしてそれに伴う水害のリスクの上昇というものに気がつきまして、その分野の研究にも手を出しつつあります。

簡単にこれまでの研究を紹介させていただきます。先ほど私の紹介の中で、損害保険料率算出機構の方と一緒に行った研究で論文賞を受賞（「地震火災リスクの評価手法の構築に関する研究」で 2007 年度の地域安全学会論文賞を受賞）したという話がありましたが、都市が抱えるリスク、これは地震火災に対するリスクですが、このようなものを評価していく技術、建物単位から日本全国スケールまで統一的に評価する技術についての研究が代表的なものの１つです。また、そのような評価技術、あるいは、災害シミュレーション技術を、実際に都市や、まちを変えていく場、つまり、まちづくりや都市計画の現場にどのように位置づけていくかという技術開発もテーマにしております。これを支援技術と呼んでいますが、**スライド４**に見るようにＧＩＳ（地理情報システム）を基盤技術とした計画支援システムというものを研究開発しております。

スライド４



さらに、実際に本当にまちを動かしていく、まちを変えていくという時には、市民の方々、行政の方々を含めて様々な議論をしていかなければならない。ここにあるように、評価技術に基づいた、科学的な知見に基づいた情報を提示しながら、人間の議論によってまちの姿を変えることを考えていくというような実践的な活動も行っております。このような立場で、これまで仕事なり研究をしておりますので、後半のディスカッションでは、こういう特性の研究者だということをご理解の上で、議論をさせいただければ幸いです。

では、ここから本題に入っていきたいと思います。そもそも都市における災害の問題とは何かというと、基本的な理解としては、これは大都市問題の１つであると捉えています。さらに災害の要因とは何か、あるいは都市が抱える危機とは何か。多様なものがありますが、大きく３つと捉えています。

まず、防犯やテロを含む、日常的な危機です。これについては、今回は主題ではないので、とりあえず置いておきたいと思います。

２つ目は、自然災害です。これは突発的な外力による災害と捉えられます。これまで専門的に研究をしてきた地震、そして本日の中心的な話題である水害が代表的です。

３つ目としては、突発的な外力ではなくて、ゆっくりと忍び寄ってくる危機があると理解し

ております。この危機には二つの危機があると考えています。そのうちの１つが、本日の主題である地球環境変化です。先ほどの三上先生、吉村先生、近藤先生がそれぞれお話されましたように、地球環境変化によって異常気象が常態化していくと、それによって都市が抱える水害リスクが、急ではありませんが、徐々に、そして確実に高まっていくという危機です。それからもう１つは、これは今日の話題ではなくて、私自身の専門分野に関わるものです。日本の都市では、これから世帯減少が始まっていきます。それによって市街地がどんどん小さくなっていく、あるいは低密度化していくことが予想されています。これも今の都市が抱えるゆっくりと忍び寄る危機の１つであると位置づけております。

一方、その都市災害というのはなぜ問題となるのか、ということについて、大まかに捉えてみると、ここに示す３つに集約されると考えられるのではないかと思っています。

１つは、集積そのものが問題の要因であるもの。つまり、集積していれば、ゆっくりと忍び寄るにしろ、突発的な外力によっても、日常的な危機にしても、結果として被害ボリュームが高まってしまうもので、このボリュームそのものが問題の要因であると考えられます。

２つ目は、都市にもともと存在するハザードの分布、それと市街地の分布が一致してしまっていることです。その結果が災害の発生として現れてくるということです。例えば、地盤の弱いところに弱い建物が分布している。水害リスクの高いところに低層の住宅が分布している、というようなことで災害が生じるのです。もし、全く違う組み合わせであったとすると、災害が発生しにくい構造となります。つまり、都市が抱えるリスクが小さくなると考えられます。

それから３つ目としては、市街化あるいは都市化の変容に伴ってリスクが増加するという問題の本質があると思っています。これはどういうことかというと、例えばハード面でいいますと、無計画に高密度化してしまう、あるいは市街化された後に建物が更新されずに、取り残されてしまう市街地が存在してしまうというのが例です。その結果として、都市が抱えるリスク、要するに上モノの、上に建っているものの脆弱性が高まってしまうという問題が生じることにつながります。さらにソフト面で見てみますと、地縁社会が崩壊して、地域コミュニティが脆弱化する、つまり、災害に対する対応力がなくなってしまって、結果として災害が拡大し、それが問題となるという例も挙げられます。あるいは高齢化であるとか、あるいは危機意識の希薄化とかもマイナスに作用する都市の変容です。さらに、この市民の危機意識の希薄化に関しては、そのハード的な技術が進んで、あるいは都市の近代化が進むことによって災害の頻度、要するに顕在化する災害の頻度というのがどんどん減少していき、災害の経験も減り、結果として人間の危機意識が希薄化し、災害に対する対応力がどんどん弱くなっていくという構造になっていると言えます。ハードとソフトが相互連関してプラス・マイナス両面の作用を及ぼしているといえます。

簡単に言えば、この３つの要因をうまくかわしながら、都市をつくり上げていけば、都市災害という大都市問題をそれなりに緩和することができるのではないかということが言いたいわけです。

これから、今回のテーマに入っていきたいと思います。今回のプレゼンテーションでは、これまでの都市化の過程におけるリスクの変化というものを簡単に振り返って、これからの時代に我々が考えて行かなければいけないことを、ここで問題提起をさせていただきたいと思います。

これからお話しすることについては、今こういうことですよという事実関係についての話ではなくて、むしろこの場で皆さん含めて、先生方も含めて議論させていただければと思っております。**スライド８**は、首都圏の市街地の拡大してきた経緯を表わしております。真ん中の一番色の濃いところは江戸時代、オレンジ色の部分が関東大震災以後、そして黄色の部分が第二次世界大戦後、つまり戦後の市街地の拡大になります。これを見て分かるとおり、関東大震災後に市街地がぐっと拡がって、そして戦後、だらだらと急速に拡大していったということが理解できるかと思います。

スライド８

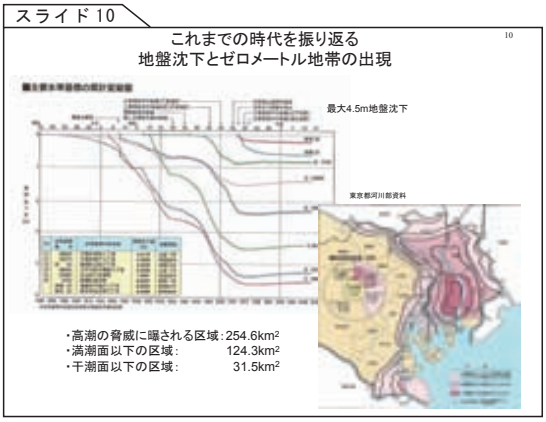
首都圏では、今説明してきたような市街化の経緯がありますが、次に、この過程で市街地がどう変容してきたかについて見ていきたいと思います。まず、地震に対するリスクについてみていきたいと思います。東京都では、防災都市づくり計画という計画を策定しています。この計画は、改善すべき木造密集市街地を選定し、そこを重点的に改善していこうという計画です。改善すべき地区は、重点密集市街地と呼ばれ、**スライド９**の黒く塗られているところが指定されています。この地域がどういう地域であったかというと、市街化の経緯に照らすと、次のようなことが言えます。関東大震災の時に郊外化した住宅、そして戦後の都市への人口集中の受け皿として建てられた木造のアパートが集積している地域というのが、今現在、地震防災対策上、負の遺産となって浮き彫りになっているわけです。

スライド９

これは、先ほどの都市災害の問題と、要因でいうと、市街化の過程における市街地の変容が非常にまずかったということが言えます。無秩序に住宅が高密に集積したことによって、都市が抱えるリスクが急激に増加してしまったということが言えるかと思います。

次に水害に関して見ていきたいと思います。日本の近代化、そして戦後の経済成長を通して、急速に地盤沈下しています。**スライド 10**は、横軸が 1890 年から 2005 年ぐらいまで切ってありまして、縦軸は地盤沈下の量を表わしております。最大で東京下町を中心として 4.5 m ぐらい地盤沈下していることが分かります。こ

スライド 10

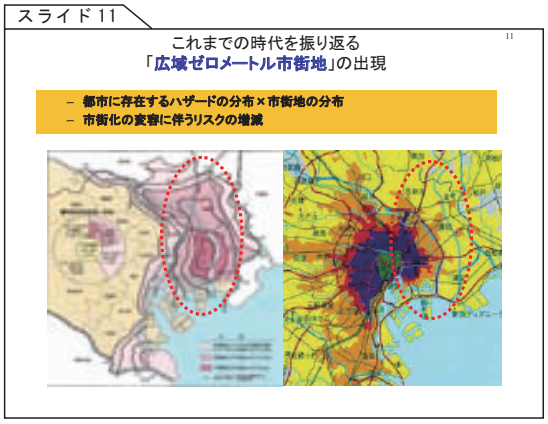


れはいずれも、東京都河川部が出している資料ですが、右下の図を見ますと、荒川放水路の下流域を中心にして、すり鉢状の地域ができてしまっていることが分かります。濃い赤色のところは干潮面以下、薄い赤色のところが満潮面以下、さらにこの一番薄い色のところまで含めると、高潮の脅威にさらされる区域となります。面積でいうと非常に大きい数字となります。

先ほどの近藤先生、吉村先生が示された表によると、高潮の危険性も今後可能性が高まっていくであろうということですので、そういうことも踏まえると、この地域は、相対的には今後さらにだらだらと地盤沈下していくという状況に相当するとみなすことができます。

先ほどの市街化の過程と合わせて見ると、地盤沈下しつつ、さらにそこに低層の市街地が形成されていったということが、**スライド 11** を見ると理解できるかと思います。右側の図の黄色のエリアが、戦後市街化されていった部分です。つまり戦前は田畑だった、葛飾、江戸川区の大半を占める地域です。この事例でいうと、都市に存在するハザードが地域の地盤高であり、その上にハザードとは関係なく、普通に住宅が建ってしまった。その結果、水害に対して非常に高いリスクを有する市街地ができてしまったと理解できます。もう１つの要因としては、市街化の変容というのが、つまり地盤沈下ですが、地盤沈下によって都市が抱えるリスクが増大してしまったということができます。ハザードの分布と市街地の分布の不適切な組み合わせ、さらに都市の変容に伴うハザードの増大という、この２つの要因によって、この問題が発生し、深刻化してきていると言えるかと思います。

スライド 11



歴史に「タラレバ」はないのですが、地盤沈下する、もともとハザードが高い地域があったとして、もしも、そこにオープンスペースをたくさん持った高層のビルが建っていたならば、この都市が抱える水害リスクというのは、それほど大きなものではないということです。そういったコントロールを都市計画がしていくというのが、非常に重要になってくるのではないかと思っております。

最近、注目しているのが、「広域ゼロメートル市街地」です。つまり、ゼロメートル地帯が広域にわたって、しかもそれがすべて市街地であるという地域です。この言葉をぜひ流行らせたいと思っています。これは濃尾平野や大阪平野、また関東平野の下流域（**スライド 12**）に広がっています。避難所を近隣地域で確保するという通常の発想では避難対策が困難であり、下水道整備が行われた結果、市民の意識は極めて低いという特徴がある地域です。さらに、一旦、被害が起こると、とんでもない状況になり得る地域と言えます。さらに今後の地球環境変化を

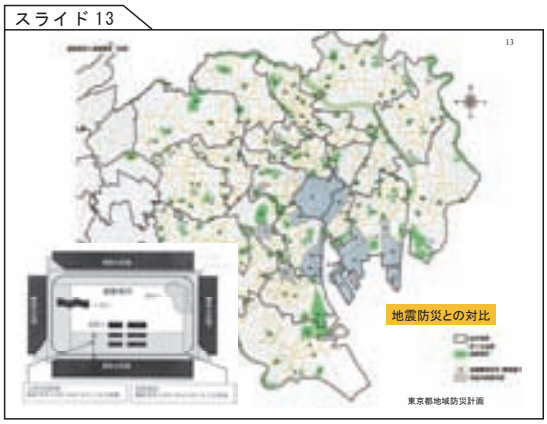
スライド 12

踏まえると、長期的な取り組みが必要になってくるという地域です。

先ほど申しましたとおり、これまであまり水害に対しては研究してこなかったわけですが、水害について見た時に、最初に驚いたのが、いかにこれまで市街地側が水害に対して備えてこなかったのかということです。

スライド 13 の例は、地震防災の広域避難場所といわれるところで、延焼火災から逃げるための空間です。これを計画する時には、火に囲まれた時にこの公園の中のどれぐらいが安全かというのをきちんと計算しています。公園の中の安全な区域に入れる人数をカウントし、それに対応する避難圏域を決めて、理屈上、都民の安全性はすべて確保されるという結果を得て、計画が立案されています。

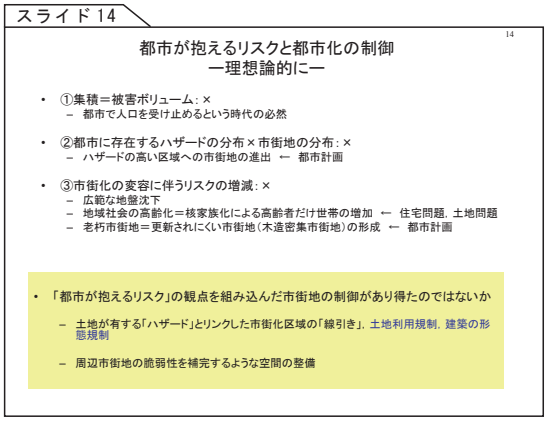
スライド 13



ところが、このような市街地では、水害に対しては、どこに逃げればよいのかもわからないという状況です。ましてや、そこまで安全に避難できるかどうかは検証されていないという状況です。最近ハザードマップが公開されつつありますが、江東区の場合は、近くの安全なところに、葛飾区は東の安全なところ（つまり、松戸や市川市）に、足立区のハザードマップは、埼玉県に逃げなさいということになっています。つまり、やはり水害に対して、我々都市計画側がこれまでいかに関心を持っていなかったかということだと思います。

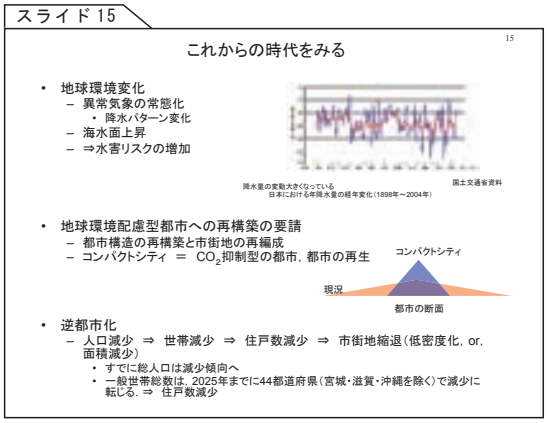
以上、これまでの都市化の経緯を見てきたわけですが、過去の都市化の経緯を踏まえると、都市災害の主たる要因（**スライド 14**）である①、②、③、これらのいずれに対してもきちんとした配慮がなされていなかったと総括することができます。

スライド 14



次に、「これからの時代を見る」ということ（**スライド 15**）ですが、地球環境変化をふまえて、都市側でも地球環境対応型の都市構造へ今の都市を再構築していく必要があるという考え方が出てきています。１つはコンパクトシティです。まだ､抽象的な概念だけれども、簡単に言うとだらだらと拡がっている市街地を、もう少し中心のボリュームを高めてコンパクトにしていこうという考え方です。これは、交通を始めとしてＣＯ$_2$を抑制していこう

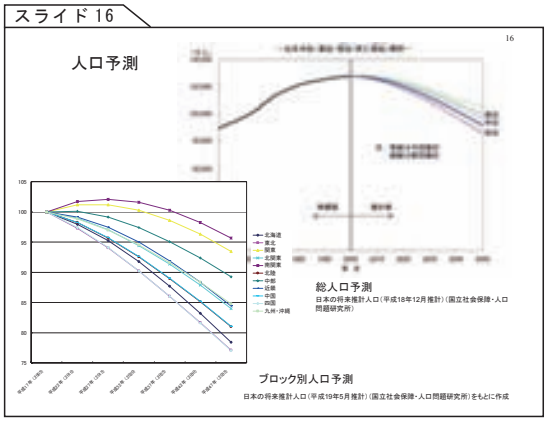
スライド 15



ということと、その中心市街地を再生していこうという２つの意味が込められている、と一般的に捉えられています。もう１つは､逆都市化というキーワードです。人口減少､世帯減少、そして住戸数の減少、そして市街地の縮退が必要になってくるという流れです。これは市街地面積を減少させるか、低密度化させるかのいずれかの選択になっていくと思います。この３つに対応するために、都市をどう変えていくのか、そして、それをリスクの観点からどう考えていくのかというのが、今、我々に課せられている課題であると考えています。

ちなみに、**スライド 16** は、厚生労働省の人口予測ですが、人口がまだ増えている南関東でも、今から 10 年後ぐらいにピークを迎えてその後減少していくということになっています。他の地域では、既に減少期に入っているということを表しています。既に、日本の都市は、転換期を迎えています。この転換期を、都市が抱えるリスクを劇的に減少させる機会と位置づけるべきではないかと考えています。これまで都市化の過程でリスクがどんどん高まってきました。今、これから逆都市化の時代、それから地球環境対応型の都市に、今の都市を再構築していくという段階を迎え､この後､我々が生活する日本の大都市が､リスクという観点でどう変わっていくのかというのは、これからの都市の再構築、あるいは市街地の再編成のあり方にかかっているのではないかと思います。少なくとも、先ほど申しましたような、これまでの都市化の過程における過ちを繰り返さないように配慮していく必要があると考えております。

スライド 16



最後のまとめをしたいと思います。今、申し上げた都市の変容のあり方をこれからの時代で考えていく、あわせてそこで生活する人間のライフスタイル、それからそれを支える社会的な仕組みというのを考えていく。それから、これは技術者としては若干言いにくい側面もあるのですが、自然の外力との向き合い方、今まで自然の外力に対してアゲンストという姿勢でしたが、そうではなく、うまく受け流す、受け止めるという形の技術開発もあるのではないかと思っています。

ただ、今の問題としては、地球環境変化が私たちの予想よりも相当速いスピードで変化しています。それに対して、都市の変容のあり方を考えるというと、時間的にもしかしたら都市側の方が遅いのではないかということを少し心配しているのと、都市の再構築の方法論がまだ確立されていないという課題があります。我々の分野では、このような議論を急いで進めていかなければいけないのではないかと考えております。

以上で私の話を終わらせていただきます。

パネルディスカッション第１部：話題提供

「気候変動 – 損害保険業界への影響」

橋村　芳徳（はしむら よしのり）

ミューニック リー ジャパン サービス 株式会社

要 旨

京都議定書や昨今の気候変動に関する政府間パネルなどで多くの議論が活発に行われている一方で、世界各地において近年発生している異常気象や自然災害の多くが地球温暖化に伴う気候変動によるものだといわれている。特に、日本については、地震リスクだけでなく、この影響が懸念される今後の台風リスクなどに関して注意深く考える必要がある。

損害保険業界各社の業績は、自然災害による損害により左右される部分が必ずしも小さくなく、この問題について業界としてどのように対応していくべきかを常に考えていかなければならない。

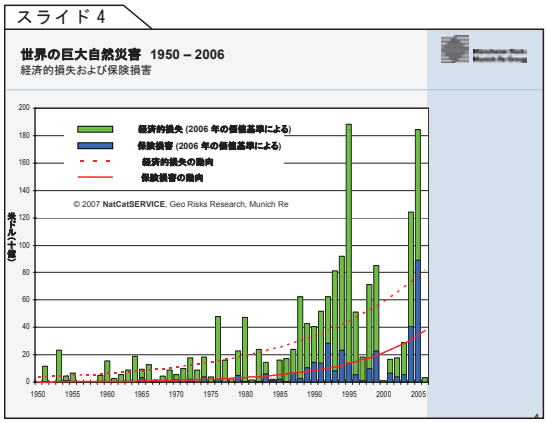
一般に保険は大数の法則のもと、過去のデータから統計的手法によって損害の確率を計算する事が基本となるが、この気候変動の問題については、過去のデータだけでなく、今後を予測する事が非常に重要である。世界全体、そして日本を含む北西太平洋地域におけるリスクに焦点を当て、保険業界が直面している問題および対策について検討する。

今ご紹介いただきましたミューニック　リー（ミュンヘン再保険会社）の橋村です。よろしくお願いいたします。

再保険というもの自体、ご存じない方もいらっしゃるかと思いますが、私たちミューニック　リーは、保険会社の保険会社という形で働いておりまして、そのような意味では日本だけでなく、全世界的な視点で、話を進めさせていただきます。まず、世界および日本の損害の統計、そして気候変動に対する周知の事柄および今後の話、熱帯低気圧に関して全体的な話とともに、どのような形で太平洋の日本周辺が影響されているか、またそれに対して保険会社としてどのようなリスクモデリングをして、どのように対応していくか、について話を進めていきたいと思います。

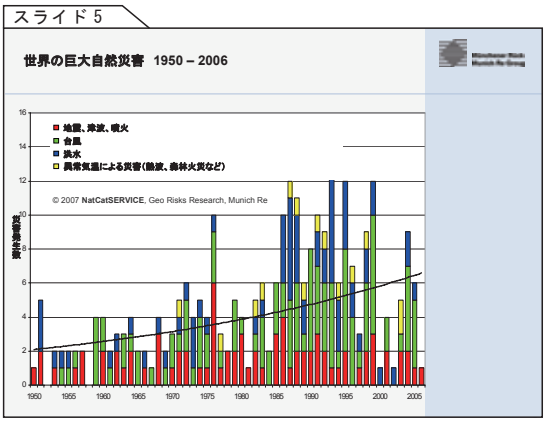
スライド４は、地震による損害額も入った世界的な統計で、したがって、気候変動だけではありません。この中でどの年に経済的被害が多く出ているかというと、1995 年と 2004 年、2005 年です。1995 年は、阪神淡路大震災が起こった年で、気候変動と関係ありませんが、2004 年、2005 年についてはアメリカでハリケーンによる大規模な災害が発生しており、こちらの方が気象による自然災害として、経済的損害額が高くなっています。

スライド４



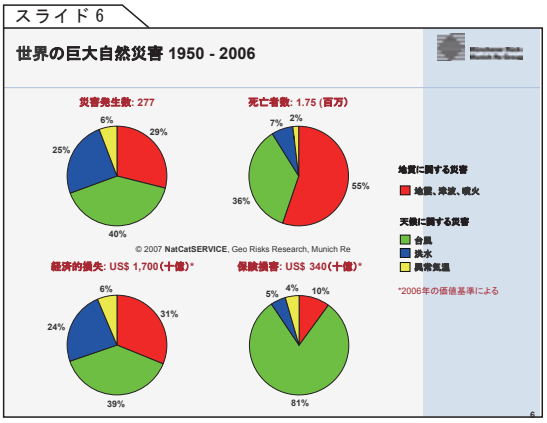
続きまして、**スライド５**は、巨大自然災害について、どのような要因、ペリルで起きたかを色分けして示したものです。一番下から地震、その上に台風、洪水、それ以外の異常気温による災害の順です。過去から見てきますと、地震は、大体件数的に毎年１・２件、多い年で４件ぐらい発生しています。全体のバーの長さを見ますと、昔に比べると、他の災害部分が全体的に伸びてきています。地震の部分が基本的に大きな変動がないので、地震以外の損害が比較的増える傾向にあるのではないかと思います。ただ、年によってかなりばらつきがあるので、一概に言うことは難しいかもしれません。

スライド５



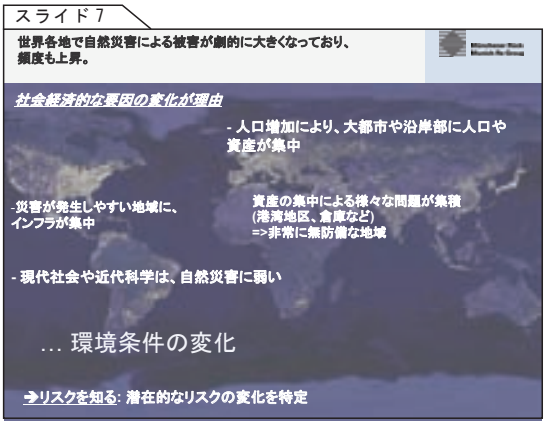
スライド６は、世界の巨大自然災害における死者数、経済的損失（実際の損失額）、保険損害など書いてあり、資料を見ていただければお分かりになると思いますので、説明は割愛させていただきます。

スライド６



本日は「気候変動がどのような影響を保険業界に及ぼすか」という話をするのがメインのテーマではありますが、実際、気候変動だけが、先ほどのような巨大損害が増えてきた理由のすべてになるかというと、そうではありません。それに関して、**スライド７**を用意しました。実際、損害額などを考える場合においては、当然バリューの高い地域が被害に遭うかどうかとい

スライド７

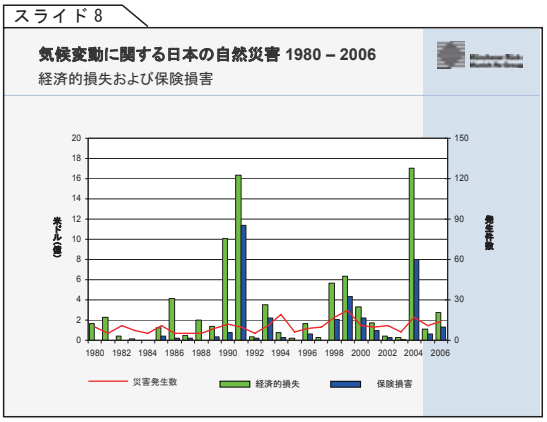


うことが、巨大損害になるかどうかの１つ重要な検討材料になると思います。

スライド７の後ろの世界地図で、例えば日本の辺り、ヨーロッパの辺り、もしくはアメリカ辺りは比較的白くなっていると思います。またインド、中国、この辺りも白くなっていますが、人口が多く都市化が進んでいる地域です。人口が多くなれば、そのような地域にインフラ関係、つまり港湾関係や倉庫などが多くなります。そこに存在する人間の数およびバリューというものが相当高くなります。そのような地域が海沿いに比較的多いということを考えると、現代の社会においては、自然災害に対して比較的被害を受けやすい状況が今整ってしまっているということも、気候変動ばかりでなく、私たちは考慮に入れる必要があると思います。このようなことも含めて、潜在的なリスクの変化を、いかに私たちが特定していくかが重要になると思います。

ここまで、世界的な視点で話をしましたが、日本に絞って見てみますと、先ほどの世界の統計と違い、地震災害を除いた統計をご覧いただきたいと思います。**スライド８**は、「気候変動に関する…」と標題にありますように、あくまで、台風、洪水、熱波などについてだけの統計になっています。

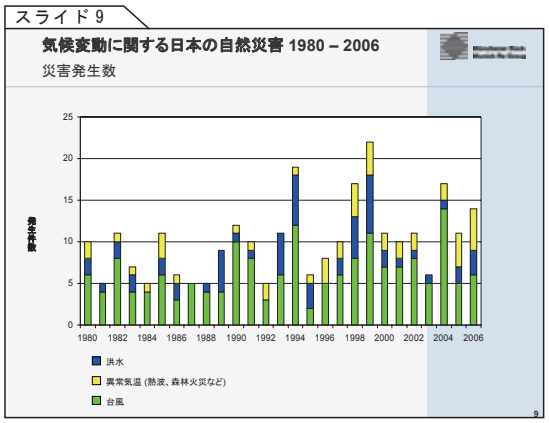
スライド８



緑色が経済的損失、青色が保険損害です。1991 年と 2004 年の２つが大きく突出しています。1991 年はほとんどが台風 19 号ミレイユという非常に大きな台風による損害です。2004 年はミレイユほど大きな台風は来ていませんが、台風が 10 個上陸した年です。そのため皆様方も、この 2004 年は記憶に新しいところかと思います。

スライド９は、先ほどの金額とは別に発生件数の推移です。一番下は台風です。グラフは、1980 年からスタートしていますが、1990 年あたりを境として、左側部分と右側部分とを比較すると、比較的後の方（右側）が数としては伸びているように見受けられます。ただ、これも先ほどと同じように、年によって非常に多い年もあれば、少ない年もあるので、一概に傾向と言い切れるかどうかというのは、微妙なところだと思います。

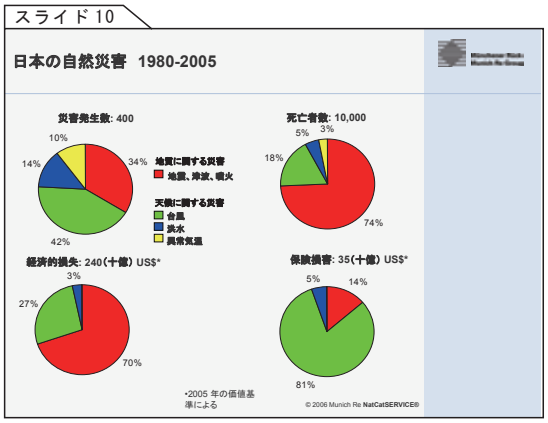
スライド９



先ほど世界の統計でも同じようなグラフをお見せしましたが、本日は保険会社以外の方で聞きに来られている方も相当いるということをお聞きしましたので、１点だけ注釈を加えさせていただきます（**スライド 10**）。下の２つの円が経済的損失と保険損害ですが、経済的損失の方は

地震の割合が大きいですが、それに対して保険損害は圧倒的に台風による損害の割合が大きいことが分かります。この違いは、風災は火災保険で一般的に担保されているのに対して、一方、地震は、地震保険、もしくは企業関係の物件ですと地震拡張担保というような形で担保されているためです。つまり担保されている件数が地震の方が少ないため、経済的損失は地震が大きくあったとしても、保険として払う金額は地震の方が非常に少なくなるということが、このグラフから読み取れると思います。

スライド 10



日本は台風について非常に危険な国の１つであるということをよく言われています。**スライド** 11 は、1980 年から 2006 年までの 27 年間において保険損害の大きかった台風、上位 10 個を並べてあります。先ほどグラフでもお見せしました 1991 年ミレイユが一番大きいものとして載っています。発生年月日をご覧下さい。タイトルにありますように 1980 年からということですが、1980 年代の台風というのは１つも載っておりません。また、約 10 年前の 1998 年以前の台風は、1991 年と 1993 年の２つの台風しかありません。逆に言うと、８つの台風は 1998 年以降に起きています。かつ、過去数年間を見ただけでも 2004 年以降、５つの台風が載っています。

スライド 11

日本で保険損害の大きかった 上位10個の台風 (1980-2006)

発生年月日	台風	経済的損失 (百万米ドル)	保険損害 (百万米ドル)	死亡者数
1991年 9月26～28日	ミレイユ(No.19)	15.500	10.800	62
2004年 9月6～8日	ソンダ (No.18)	10.000	5.200	41
1999年 9月22～25日	バート (No.18)	6.200	4.300	26
1998年 9月22日	ヴィッキー/ ワルド (No.7/8)	3.800	2.000	18
2004年 10月19日～21日	トカゲ (No.23)	2.500	1.400	80
1993年 9月2～4日	ヤンシー (No.13)	1,900	1,400	87
2004年 8月30～31日	チャバ (No.16)	2.200	1.300	14
2006年 9月16～19日	シャンシャン(No.13)	2.600	1.200	9
2005年 9月6～8日	ナビ (No. 14)	1,100	590	25
2001年 8 月21～23日	パブック	940	590	8

© 2007 Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, Geo Risks Research, NatCatSERVICE

*in 2006 values

台風の数の増減についてはいろいろな論議があります。しかし、台風の被害額に関していいますと、ここ数年は、このように毎年のように大きな台風による損害が出ていると言えます。

ここまで、統計的に見てきましたが、実際に気候変動について、私たちが今までどのようなことを知っているのか、そして、これからどのようなことを考えていくべきなのか、他の先生方のお話でもありましたが、今、地球温暖化、温室効果ガスもしくは温暖化ガスによる気温の上昇が叫ばれています。では、もともと過去にさかのぼった時、自然界にそのようなガスが存在していたのか、全く存在していなかったのかについてお話いたします。

スライド 13 は、近藤先生のお話でも触れられたと思いますが、根本的に温暖化ガスというのは、もともとある程度自然界に存在しています。万が一その温暖化ガスというものが全くなかった場合、地球の気温はどのくらいの温度なのだろうということを考えた時に、大体－ 18℃ぐらいと考えられます。自然界に存在している温暖化ガスの効果は大体＋ 30 ～ 35℃程度で、その差し引きで世界の気温は、大体 14℃～ 15℃ぐらいで、今まで推移してきています。

今問題になっているのは、この温暖化ガスの効果が、増量によって温度が上昇しているということです。したがって、大体 14℃～ 15℃ぐらいというお話をしたのですが、その平均気温というのが今、徐々に上がってきています。地域によっては 1.5℃以上、場所によってはもっと高い上昇が見られるようになってきています。

スライド 14 のグラフは、その気温の偏差をまとめたものですが、このグラフから２つのことが言えると思います。１つ目は、ここに描かれている黒い線が曲線つまり波を打っていることです。過去の統計を見ますと、一定のサイクルで気温が上がったり下がったりということを今まで繰り返しています。

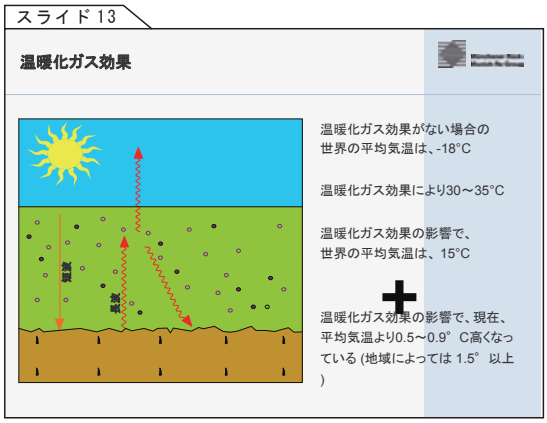
２点目、これは温暖化を表すことですが、この曲線が完全に右肩上がりになっていることです。これは過去の統計には見られない、別の要因が働いていることを推測させます。

このグラフの右側の部分、黒い曲線の上に突き出ているバーが幾つかあると思います。最近の暑かった年が、スライドの一番右に書いてありますように、1998 年と 2000 年代です。2002 年以降はずっと続いています。つまり、ここ 10 年の気温は、この統計から見ると一番暑くなっているということが言えると思います。

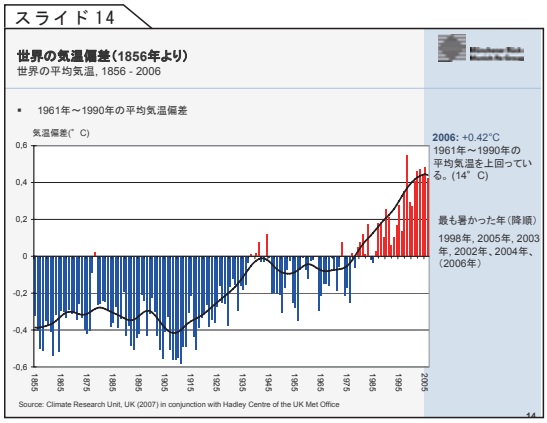
地域的に差があるかということにつきましてはスライドのとおりですが、細かい説明は近藤先生の講演の中でも触れておりますので、省かせていただきます。どの地域においても、気温は右肩上がりというのが見受けられます（**スライド** 15）。つまり気温の上昇は、どの地域においても見られる傾向だということが、お分かりいただけると思います。

次に、どのような温暖化ガスがあるかにつきましては、**スライド** 17（**図表**）をご覧下さい。CO_2から始まり、その下のメタン、亜酸化窒素、これらは、自然界にもともと存在していたもの

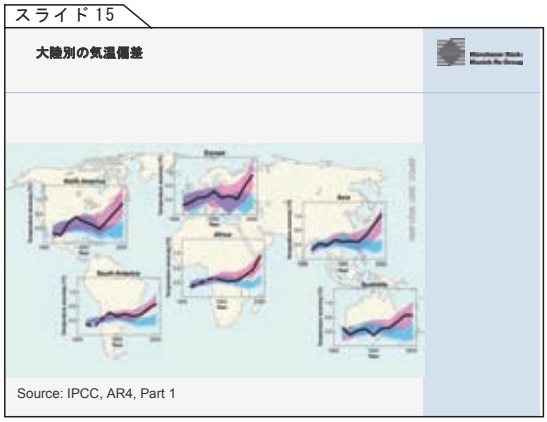
スライド 13



スライド 14



スライド 15



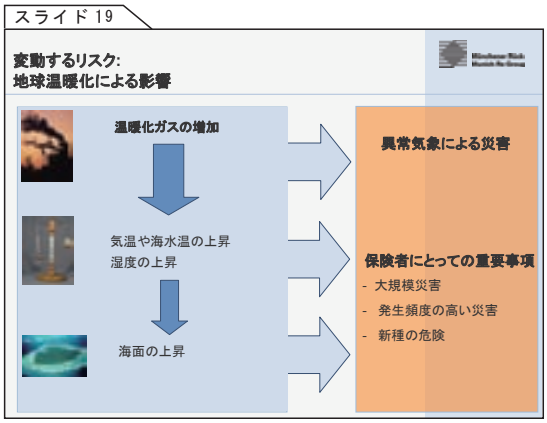
スライド 17

主な温暖化ガス － 重要事項と数値
(Source: IPCC, other)

温暖化ガス	1750年の価値基準[ppm]	2006年の価値 基準[ppm]	人為的要因割合	持続年数（年）	排出源	影響	割合 AGE
CO_2（二酸化炭素）	280	383	30%	< 150	・自然発生的 ・化石燃料やバイオマスの燃焼 ・森林開拓	温暖化ガス	62%
CH_4（メタン）	0,7	1,78	30%	10-12	・畜産業（反芻動物） ・湿地帯（沼沢地） ・水稲栽培 ・廃棄物処理や排水処理工場 ・永久凍土の溶融	温暖化ガス	20%
N_2O（亜酸化窒素）	0,27	0,32	20%	80-150	・化石燃料やバイオマスの燃焼 ・肥料（化学肥料） ・オゾン層破壊	酸性雨、スモッグ、オゾン層破壊	6%
CFK（フロンガス）	0	0.00001 - 0.0000005	100%	1-260	・アルミニウム製造 ・凍結剤 ・洗浄剤 ・液化石油ガス（LPG）	温暖化ガス、オゾン層破壊	10%
SF_6（六フッ化硫黄）	0	0.0000042	100%	3200		オゾン層破壊	<1%
H_2O 水蒸気	1-3	1-3		数日間			2%

です。それが人為的要因によって上昇しています。フロンガスは、人為的要因割合が 100％となっていますが、もともとは自然界には存在しないものです。つまり、人為的につくられたものです。このようなガスなども、自然界にもともとあったものの上昇と同時に、温暖化ガスの問題を考える時には、非常に重要な項目になると思います。

スライド 19



次に、これらの問題に対し、今後私たち保険会社としてどのようなことを考えるかについて、若干触れていきたいと思います。**スライド 19** の左側で、温暖化ガスが増えることにより気温・海水温そしてその影響により海面が上昇することを表し、その結果が右側で、異常気象による災害が起こることを表しています。では、保険会社にとって、何が問題になるか。３点あります。１点目は大規模損害。今まで起きていた同じような事象であってもより大きなものが起きる可能性があるということです。２点目は、発生頻度の高い損害が、今後起きてくる可能性があるということです。３点目が、新種の危険です。

この中で、皆さんが一番興味を持たれるのが、この「新種の危険」だと思います。「新種の危険」とはどんなものがあるのか、**スライド 20, 21** の２枚にその例をあげます。台風やハリケーンが発生する地域は今まで限られていました。しかし、最近では、その地域とは全く別の地域で起きてくることがあります。その１つ目の例が、スライド 20 のブラジルで起きた 2004 年のハリケーン。そしてもう１つは、ヨーロッパのイベリア半島の少し南辺りで発生したハリケーンです。

スライド 23 ～ 24（付録５．参照）は、見ていただいて分かるものなので説明は割愛させていただきます。

スライド 20

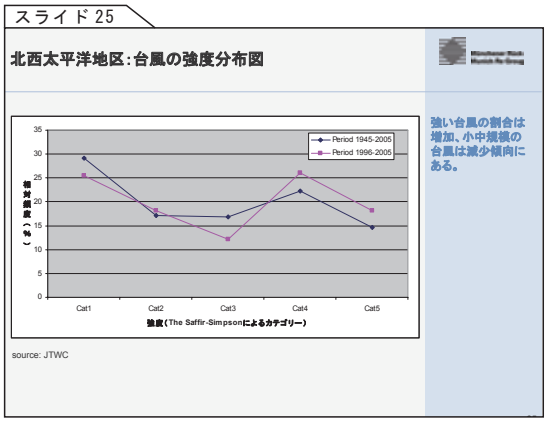
スライド 21

日本が属している北西太平洋辺りにおいて、台風の強さは変わってきているだろうか、ということについてご説明させていただきます。研究者の間でいろいろな意見があるのですが、本日は**スライド 25** を用意させていただきました。青い線が、長い統計期間すなわち 1945 年～ 2005 年のもので、それと比べると赤い線（1996 年～ 2005 年）の統計は、カテゴリー４・５が増えています。横軸は、風速により台風の強さを分けているもので、カテゴリー４・５というのは強いものを指します。これを見ると強いものの割合が増えてきているように見受けられます。

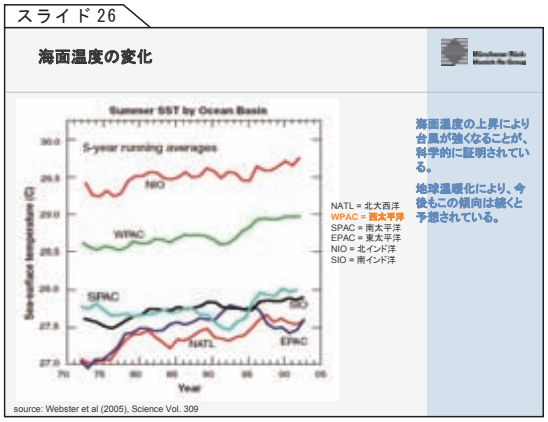
スライド 26 は、海面の温度変化を示していますが、これもどの地域においても右肩上がりになってきているのが、分かると思います。
同様に、熱帯低気圧の活動期間（**スライド 27**）についても右肩上がりになっています。この２つのスライドから海面の温度も上がっているし、このような活動期間も長くなってきていることが分かります。

ここからは、保険会社的な話を少しさせていただきます。私たち保険会社がよく使う手法としては、**スライド 29** の下にあるリスク曲線があります。これは、再現期間、つまりリターンピリオドを考慮したもので、何年に一回、どのくらいの大きさが起きるかというものを、モデリングします。その中で使う要素としては、確率現象の設定、「ミュンヘン再保険の…」と書いてありますが脆弱性、および個々のポートフォリオ、この３つからリスク曲線を描いていくという作業を一般的に行います。私たち保険会社は、保険というのはどのように働くのかという中で、「大数の法則」（過去に起きたものと同レベルのイベントが今度いつ起こるか）を考えていくというのが一番基本になります。

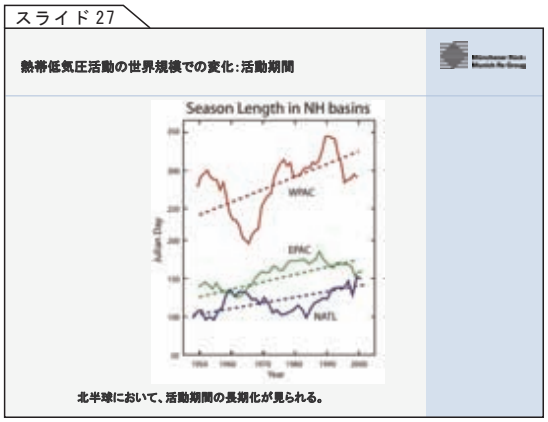
スライド 25



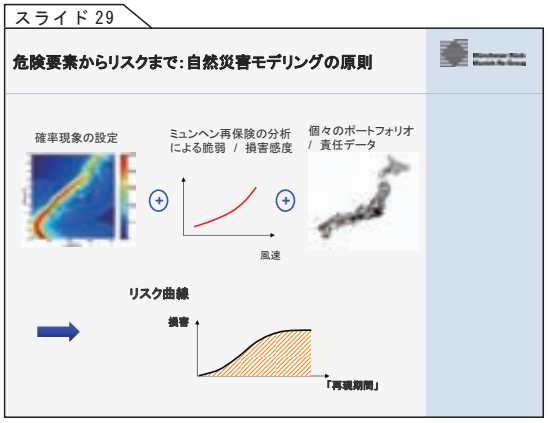
スライド 26



スライド 27



スライド 29



現実的には、この気候変動の問題や人口集中の問題などを考えた時に、過去と同じような計算だけをしていて良いのか。リトルアクティブではなく、プロアクティブのアプローチが必要なのではないかという考えがあり、リスク曲線を描くに当たり、将来起こり得る強い台風やその台風の被害、洪水リスクの再評価などを行っていく必要があると考えています。

今、申し上げた３つの要素のうち、１点目、２点目については、私たち研究者および保険・再保険会社の中でいろいろ検討していく必要があると考えています。皆様方、特に保険会社の方々に、私たち再保険会社からお願いしたいのは、個々のデータを詳しくご提供いただくことです。今まで一般的には国全体のデータや県別データをいただいています。しかし、私たちは例えば市区町村ベースや郵便番号程度の細かさ、場合によっては住所が分かるようなものなど、より細かいデータを使ってリスクについて詳しく勉強していく必要があるのではないかと思います。

他の先生方からもお話があったとおり、台風など自然災害の頻度や規模と地球温暖化には、何かしらの相関関係があると考えられます。保険会社として、いかにリスクを的確に判断し、それをリスク評価につなげ、必要に応じて再保険会社または保険会社として、キャパシティをいかに提供していくのかについて考える必要があるということです。

新しいリスクが出てくるという場合を考えた時に、「新しいタイプの保険」や「再保険商品」を皆様方と一緒に考えていかなければならないと思っています。ミューニック　リーにおきましては、1970 年以降、主にヨーロッパにおける多くの会議に参加させていただきながら、気候変動について勉強し、皆様方にできる限り多くの情報および再保険カバーの提供を心がけています。

私たちミューニック　リーは、**スライド 35** のようなホームページを持っています。日本語版は一番下に書いてある URL ですが、10 月 31 日に立ち上げたばかりです。日本語でも今後、英語版と同じような情報を皆様方に発信していきたいと思っております。この英語版および日本語版ともに、時間がありましたら、ぜひご覧いただければと思います。

ご清聴ありがとうございました。

スライド 35

パネルディスカッション

第２部：ディスカッション

パネルディスカッション第２部

ディスカッション

［司会］**木下　武雄**（きのした　たけお）
元国連国際防災の十年科学技術委員会委員
（損害保険料率算出機構 災害科学研究会 風水害部会主査）

［パネリスト］**近藤洋輝・吉村純・三上岳彦・加藤孝明・橋村芳徳**

木　下：　ただいまご紹介にあずかりました木下でございます。

最初に、先ほど第１部でお話くださった諸先生から、補足したいことがございましたらお願いしたいと思います。

近　藤：　私の方は、話を始めますときりがないほどいろいろございまして（笑）、先ほどもだいぶ早足で話をせざるを得なくて大変恐縮だったと思います。したがって、これからいろいろご質問にお答えするという形で、補足したいと思います。

橋　村：　先ほど私の部分も、相当駆け足になった部分がありまして、説明が足りなかった部分がありましたので、補足させていただきます。

スライド 33 で、変動するリスクに対処するための保険業界の選択肢として、ジオコーディングの部分だけ若干申し上げましたが、もう少し詳しくご説明をさせていただきます。

私たち再保険会社は、一般的には保険会社がお客様になります。そちらの方とお話している時、いろいろな資料のご提供をいただきますが、県別の集積金額データをいただくことがございます。当然、私たちミューニック　リーとしましても、内部的にいろいろなモデルを持っており、県別データの分析も当然できます。ただ、１つの県においても海沿い、山沿い、もしくは北側、南側などによって、その集積がどこに集中しているかが分かれば、もう少し詳しく分析できます。

スライド 33

日本の風水災について、日本を3, 200

か3,300に分類するようなデータで分析することが可能になっています。

そのようなデータもしくは出来得るならば各々のリスクの住所などの詳細なデータをいただくことによって、県別などで見ているデータよりも、より細かい分析ができる準備をしております。より正確に、より細かく分析をした上でお客様と話をすることが、私たちにとって一番正しい選択だと思っておりますので、より細かいデータをご提供いただければというお願いを込めて、こちらのスライドについてコメントをさせていただいた次第です。

先ほど時間がなかったため、細かく申し上げず、単にジオコーディングという言葉だけで終わってしまったことをお詫び申し上げます。

木　下：　どうもありがとうございました。それでは、ご質問をいただきましたものを分類して、順番に近藤先生からお答え、ディスカッションをお願いしたいと思います。先ほど近藤先生もおっしゃったとおり、近藤先生に話していただければ、あと１時間、２時間はかかると思いますので、トピックスを選んでお答えいただきたいと思っております。

それから１つだけ、非常に一般的な概論的な地球の歴史から説き起こしたご質問もいただいていますので、それは最後に一般論として、私の意見を述べさせていただきたいと思っております。

それでは、近藤先生の方からよろしくお願いいたします。

近　藤：　まず、「温暖化していると言われていますが、最近でも非常に積雪が多い冬、寒い冬がありました。本当に温暖化しているのでしょうか？」という質問をいただきました。実は、気候変動と一言で言いますが、これには２つの意味があります。１つは広い意味での気候変動で、気候変化、つまり、非常に長期的な100年規模の変化傾向という意味と、もう１つは狭い意味での気候変動で、短期的ないわゆる変動(variability)、つまり、季節規模から年々、10年ぐらいの変動という意味があります。

ＩＰＣＣでまとめた合意された知見では、あまり一般化しすぎてはいけないのですが、いわゆる狭い意味での変動が、温暖化とともにかなり激しさを増すということが、今日お話したように、いろいろ出てきたかと思います。つまり、気温でいうと暖かくなったり寒くなったりしつつも、長期的に見ると、平均気温が上がるととらえていただくのが正しいと思っています。実際、モデルで現在気候の再現実験、将来の予測実験をやりましても、そのような傾向が見られることは確かです。

そのような変動を「極端現象（Extreme event）」と表現しますが、日本では一般に「異常気象」とも表現しています。従来30年平均という統計値が、WMO（World Meteorological Organization；世界気象機関）で使われてきており、それから外れるような現象の意味で、気象庁でも「異常気象とは、ある場所で30年に一度程度発

生する現象」と定義して使っています。しかし、国際的には「異常気象」にそのまま対応する言葉はなく、「Extreme weather event（極端気象現象。特定地域において、統計的な分布範囲からみて稀な現象）」や、「Extreme climate event（極端気候現象。一定期間の多数の気象現象の平均量が異常な場合）」、より広い意味で「Extreme event（極端現象）」というような表現が一般的に使われております。

それからもう１つ、「ＩＰＣＣ第４次評価報告書の中で温暖化の原因特定について、かなり可能性が高いという very likely という表現を使っていますが、どうしてそう言えるのですか？」というご質問がありました。これについては、ＩＰＣＣの第１作業部会の総会が、パリで 2007 年１月末から２月１日にかけてありました。その会議は最後の方でかなり揉めました。揉めた原因の１つは、中国の代表が第３次評価報告書で likely（可能性が高い。実現性が 66 ～ 90%）だったものが、第４次評価報告書で very likely（可能性がかなり高い。実現性が 90 ～ 95%）という案になっているのはおかしいと指摘したことでした。まだまだモデルも不十分であるし、観測も決して十分ではなく、very をつけるにはまだ早いという意見でした。

そこでいろいろな議論がありましたが、結局ＩＰＣＣというのは、科学者が集まって原案を作るわけですから、その 1,000 ページにわたる文は学術書であり、最先端の人たちがまとめたものです。会議では、政策決定者はそこで下された評価に向うべきであって、政府代表者がそれに対して評価をする場ではないだろうという意見が相次ぎました。やはり、専門家の評価は、受け入れるべきであるというのが原則です。

その時に出た結論が、ＳＰＭ（Summary for PolicyMakers；政策決定者向けの要約）を作る会議の役割は、中身を評価したものを評価するのではなく、評価された内容をいかに正確に政策決定者や、社会に伝えるかを議論するということで、その中国の代表も注をつけることで受け入れるということになりました。その注というのは、「90%以上の確率の確からしさならば、最大 10%の不確かさが残り、その不確かさは、現代の方法論によって計られた結果である」ということでした。very likely という言葉は他にもいろいろ使っていますが、そこだけに注が付くという、少し変な形で決着しました。

それからもう１つ、予測についてですが、100 年後の気温の予測について 1.1℃から 6.4℃ぐらいの幅があります。非常に大きな幅ですが、その大きな幅が生じる理由がありまして、１つは排出シナリオがいろいろ考えられるということがあります。例えば本日、ご紹介した排出シナリオの中には、非常に排出が低く抑えられるような、我々の言葉でいいますと、「持続的発展型社会シナリオ（B1）」というのがあります。それに対して化石エネルギー源を重視して行われる「高成長型社会シナリオ（A1FI）」というのがございます。これは化石燃料をどんどん使いますので、非常に高排出なシナリオです。この２つのシナリオの間にも幾つかのシナリオがあります。そのシナリオに基づいて、いろいろなモデルで予測を行い、likely range というものを出します。ここからここまでならリーズナブルなモデルの範囲だと考えられるところで切ったものです。A1FI シナリオで、この likely range の一番高いところが 6.4℃上昇と出ます。そこと、B1 という非常に低い、排出シナリオの likely range の一番低いところ

を取りますと、これが 1.1℃上昇と出ます。そのため、ものすごい差が出ます。つまり、モデルによる差とシナリオによる差が組み合わさって、そのような差が出てくるということでご理解いただきたいと思います。

木　下：　どうもありがとうございました。

その次は吉村先生にお答えいただきたいと思います。吉村先生にはたくさん質問が集中しましたが、よろしくお願いいたします。

吉　村：　まず１つめの質問です。「最新技術で台風のエネルギーを弱体化させることは不可能なのでしょうか？」ということですが、現状では不可能というのがお答えで、例えば原爆とか水爆で吹き飛ばそうと思っても、エネルギー的には台風の方が桁違いに大きいですから、吹き飛ばすのは無理です。雲の種のようなものをばらまいて、雲の分布を変え、台風の強度を変えるというのは、理屈の上では不可能ではないと思います。しかし、幾つか実験した例もあるようですが、今のところきちんと使える技術ではないというのが現状です。

次に、私が紹介したシミュレーションの前提条件のことですが、「地球温暖化のシミュレーションに関して、現在より何℃、地球の平均気温が高いのでしょうか？」という質問です。私が紹介した例ですと、地球全体の平均で 2.5℃高いという条件です。**スライド 17** です。

また、「Western North Pacific Ocean（北西太平洋）で、現在気候よりも地球温暖化の方が、最大風速が若干弱いということになっているけれども、これはどう理解すればいいのか？」ということですが、これはまず１つ重大な問題として、シミュレーションの期間がまだ短いことがあります。地球シミュレータを使っても何百年も計算できる能力はないため、10 年とか、20 年とかで区切ってやるしかありません。そうすると、例数が少ないので、その少ない例数の中で一番強いものをピックアップしても、統計学的に意味のある十分なサンプル数が得られません。そのため、強くなるという結果がはっきりと得られないこともあるので、本当に弱くなっているのか、実は強くなるべきなのか、そこはまだ分からないというのが現状です。

スライド 17

17

各年に出現した熱帯低気圧のうちもっとも強い最大風速。
（シミュレーション結果）

Maximum surface wind	現在気候 10 years	地球温暖化 10 years	
Global	49.3	56.0	有意に増大
Northern Hemisphere	47.0	54.2	有意に増大
Southern Hemisphere	47.6	50.8	
North Indian Ocean	30.6	25.2	
Western North Pacific Ocean	45.8	44.8	
Eastern North Pacific Ocean	39.9	37.9	
North Atlantic Ocean	43.4	52.2	有意に増大
South Indian Ocean	46.5	50.3	
South Pacific Ocean	44.0	34.1	有意に減少

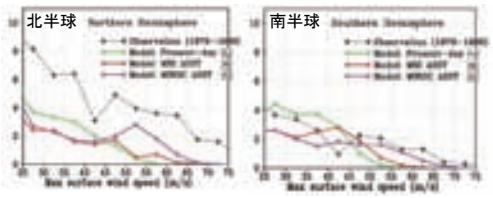
スライド 16

16

最大風速別
台風の出現頻度分布
（シミュレーション結果）

（横軸：最大風速のピーク値）

現在気候実験
地球温暖化実験



地球温暖化実験では、強い台風の
出現頻度が顕著に増えている

次に**スライド 16** ですが、「台風の最大風速別の頻度分布に関して、地球

温暖化シミュレーションよりも観測データの方が強いということは結論が逆ではないか？」という質問です。これは非常に難しい問題で、まず我々のモデルに問題があります。水平間隔 20km の細かい格子ですが、それでも細かさが十分ではなく、本物の台風のような強さまではまだ表現できないという問題が１つあります。また、観測データも随分怪しいということもあります。実際に海の上に行って台風のど真ん中で観測するわけにはいきません。そのため、人工衛星のデータや飛行機で行って上から観測機械を落とすなどその他の手法で推定するしかないので、観測データも怪しいということです。つまり、このグラフで観測データとモデルを比較して違うといっても、それは地球が温暖化してどうなるかを考える上での資料としては、あまり役に立たないというのが現状です。現状では、モデルの中で現在気候と温暖化実験と両方実験してその比較をするというのが、意味のある情報を得る方法だということです。

もう１つは、「1990 年頃から 900hPa を下回る台風を見受けなくなりました。観測機器の変遷でもあるのでしょうか？」という質問です。これは実際にデータを作るもとが変わっています。かつて 1980 年代ごろは、米軍が北西太平洋の方に飛行機を飛ばして、実際に台風観測をして、かなり現実に近い、かなり精度の高いデータを得ていたのですが、ある時期に米軍がその観測を打ち切ってしまい、人工衛星の画像から推定するしかなくなりました。手法が変わったため、昔のような強い台風が表現できなくなってしまったということなので、自然の変動を見ているというよりも、データが怪しい、データが変わったというところを見ている可能性が高いというのが現状です。まだ質問が残っていますが、他の方の質問もお願いします。

木　下：　では、その辺で打ち切っていただいて、他の先生にもいろいろご説明、ご回答いただきたいと思います。次に、ヒートアイランドについて、三上先生、よろしくお願いいたします。

三　上：　私の方は２つほど質問が来ています。

１つは、「都市型豪雨は、首都圏以外でも複数の風の収束で発生するのでしょうか？」というご質問です。結論から申し上げますと、もちろん都市型豪雨は他の都市でも発生し、昨年（2006 年）、大阪の豊中だったと思いますが、１時間百何十 mm という集中豪雨がありました。これは自然の原因ではないことは明らかですが、大阪の場合は東京のような風が海の方から収束してきて、ぶつかって強めるというようなタイプではありません。恐らく、すごく高温だった日の夕方に非常に局所的に降っていますから、都市的な豪雨の１つのケースだと思います。このように必ずしも全ての場所で同じ原因で降るわけではないと思います。それから、例えばヒートアイランドで 38℃になったら、その日は必ず集中豪雨が降るというわけではありません。多分いろんな条件が重なった時に起こるのだと考えられます。先ほども申し上げましたが、東京の北西部に１時間 50mm とか 100mm 降るケースを見ていると、熱帯低気圧や台風が南方海上にあり、北の方には前線があるなど、もともと非常に大気が不安定な状態であるところに、夏の午後にある特定地域が非常に高温になるというような、いろんな条件が重なった時に起こりますので、他の都市でも、必ずしも風の収束でなくても、非常に強い上

昇流が起こり、そして積乱雲を発達させるようなことが起これば、そのような集中豪雨的なことが発生すると考えています。

もう１つは「都市の雨ということをよく聞くけれども、冬の雪はどうでしょうか？」という質問です。都市が直接影響して強まるということは、雪の場合はないと思います。確かにヒートアイランドは冬に顕著なものですが、どか雪というのはもともと日本海側ですから、多分成因が違うと思います。2005 年、2006 年に日本海側がものすごく豪雪になりましたが、それはもっとグローバルな要因が原因です。都市の雨は、夏の日の午後に異常にに上昇流が強まって積乱雲が発達するという場合に発生するので、冬の場合とは違うと思っています。

木　下：　ありがとうございます。ヒートアイランドは、皆さんの関心が高いのですが、またご質問があれば、後に受けたいと思います。

次は加藤先生に、都市化、都市計画についていろいろお話いただきましたが、いかがですか？

加　藤：　質問が１つだけ来ているので、それを軸にして少しお話させていただきたいと思います。

質問は「都市が抱えるリスクについて」ということで、「建物の高層化と地下化をどう考えられますか？」というご質問です。そのリスクを下げていくための都市の空間像がどうあるべきかというようなお話だと思うので、それに絡めて少し話をさせていただきたいと思います。

先ほど広域ゼロメートル市街地という例を出しましたが、実際、そこで取り組みをしています。対策の基本的な考え方としては、短期的に今すぐやらなければいけないことと、先ほど申しましたコンパクトシティや地球環境対応型の都市をつくるというような、長期的に目指すべきものと、まず２つの大枠があると考えています。短期的なものについては、今のままでは、もしかすると命すら守れない可能性もありますので、それに対する対策です。相手が水ですから、基本的に高いところがあれば良いわけで、スーパー堤防という事業もありますが、スーパー堤防を始めとする高台をとにかく街の中につくっていくという方向、そして建物の高層化、要するに周辺住民が逃げられるような、避難マンションと言われるようなものを確保していくというのが、比較的現実的なものではないかと考えています。

長期的に見た場合、リスクの視点とは関係なく、そもそもコンパクトシティをつくるというのは、かなり難しい話ですが、今後、少なくとも、都市スケールで何らかのビジョンが示されていくことになると思っています。そのビジョンに基づいて、それぞれのまちで様々な空間像がつくられていくであろうと考えています。その都市スケールに関していうと、ハザードがあって、多分それに対応する地域の力があって、残った部分をどれだけ受容するかというのは、その地域毎で考えていくものなのだろうという気がしています。ですから、もちろん高層化すれば、水に浸からない部分が増えるわけで安全になるとは思いますが、それが全ての地域に共通する唯一の解というわけではないと、私自身は思っています。

それから、地下化ということについてですが、他の災害と違って、水の挙動は比較的分かりやすく、高いところから低いところに流れるため、地下は当然危ないということが理解されているはずです。ところが、実際には過去数年間の水害で、地下で何人も亡くなっています。つまり、その地域が持っている危険性というのをきちんと評価して、それを一般の人に説明する、本当の意味でよくわかるように説明する技術というのが、今少し欠けているという気がしています。そこは我々に課せられた宿題というか、今すぐ取り組まなければいけない社会的課題と考えています。

木　下：　どうもありがとうございました。

それでは、ミューニック　リーの橋村先生、いかがでしょうか。加藤先生から都市づくりというストラクチャラルな問題とのご説明がありましたが、いわゆるソフト的な対応という形で、私は保険が非常に重要な意味を持っていると思いますので、そのようなことも含めてご説明いただければ幸いだと思います。

橋　村：　それでは、私からは、建物の構造に関して私たちがどのように見ているのかについてお話ししたいと思います。保険会社でやはり一番大きな損害というと、台風による風災を考えますが、例えば東京あたりを見ても、建物は構造的にだいぶ良くなってきていると言えると思います。

仲間と数人で、建物の構造がここ10年、20年でどのように変化してきたのかについて統計を取ってみました。以前は東京辺りも当然木造の建物が多かったのですが、今は鉄筋コンクリート造などが非常に多くなってきています。風水害に対しても相当強くなってきているのではないかということで、このような変化をモデルに入れて、過去の損害がそのまま今に適用できるかについて再評価をした上でやっていくことを、今いろいろ考えております。

それと絡んだことでもう1つ、私が個人的におもしろいと感じたことですが、先ほどの例と同じ、過去10数年から30年の建物の構造を見ていった時に、昔からあまり大きく変わってない地域が1ヵ所だけありました。それは沖縄県です。台風のコースを考えますと、沖縄の方から台風が北上してくるというケースが非常に多いかと思います。テレビでも、ヤシの木などが大きく揺れている様子が出てくると思いますが、沖縄で、例えば普通の住居で、大きなダメージが報告されたケースはあまり多くありません。現在、一番多いか分かりませんが、沖縄において一番多かったのは、ブロック造りの建物でした。

ブロック造りは風水災等を考えた時には、非常に強い造りになっているため、沖縄では過去にあまり損害が報告されていないのではないかと考えられます。建物について、私たちが保険会社、もしくは再保険会社としてどのように評価しているかお話させていただきました。

木　下：　どうもありがとうございました。

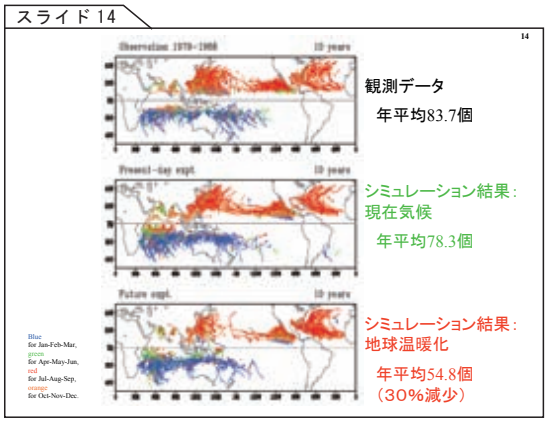
吉村先生には、もう少し質問が来ていると思いますので、お願いします。

吉　村：　2004 年に日本列島に 10 個の台風が上陸しましたが、その件について２つ質問が来ています。「地球温暖化によるものか､そうではないのか？」ということです。これは、はっきり結論を出しづらいところです。これまでに言われていることからすると、地球温暖化の影響と見なせないという感じです。たまたま、日本の方に台風を呼び寄せやすい気圧配置で、それがたまたま春から秋まで、６月から 10 月ぐらいまでの間にそのような機会が多かったと理解するのがいいと思っています。

ただ、観測史上例のない極端な現象であったことは事実であり、自然現象だと簡単に片付けてしまうのもむしろよくないので、今後まだいろいろ調べていく余地はあるだろうと思います。

次に､「地球温暖化のシミュレーション結果で、北西太平洋の台風の発生位置が西側にずれているように見えるが、温暖化後の台風の発生位置が変化するような傾向はあるのか？」という質問です。**スライド 14** です。

スライド 14



そのように見えますが、実はまだ結論が出ていないところです。１つ大きい問題は、地球シミュレータを使ってまだ何百年もシミュレーションできていないことです。10 年、20 年のシミュレーションで結果を出さなければならず、統計学的に意味のある結果をなかなか出しづらいところです。

確かに、北西太平洋の台風が西に寄っているように見えますが、これは偶然起きたのか、それとも系統的な変化として起きたのかは、まだ分からないということです。ただ､限られた資料でも何とか解析を進めていかないといけないと思っていますので、我々としても今後の研究課題と認識しています。

次の質問ですが､「保険ビジネスにおいては、様々な会社、団体が自然災害モデルを作成、活用していますが、ご紹介していただいた気候モデルのシミュレーションを共有化することができれば、現在における損害保険料のより精緻な計算が可能になると思われます。今後、そのような連携があってもいいのではないかと考えますが、どのように思われますか？」ということです。私にはあまり権限がないので、このデータを一緒に使いましょうと簡単に言える立場ではありませんが、これまでも、幾つかの研究グループと共同研究という形で同じデータを使ってもらった例はあります。保険業界の方からも、興味はありますというお話を聞いたことがあります。

ただ、先ほど申し上げたように何百年のシミュレーションをしているわけではなく、10 年、20 年のデータだけしかないので、統計学的に意味のある結果を出すのは、かなり難しいと思います。例えば、保険料率の計算に使ってもらう場合には、かなり苦

しいのではないかと思います。

最後の質問ですが、これは私にというよりも、気象庁にという質問かもしれません。「台風のマスメディアでの報道に関して、“大型”とか“超大型”とか、“非常に強い”とか“強い”とかいう表現しかありません。かつては“弱い台風”とか“小型の台風”とかいう言葉がありましたが、それを使っていません。これですと、素人では情報が得にくくないか？」という質問です。

これは気象庁で言葉遣いを決めて、ある時期から変更しました。“小型の台風”とか“弱い台風”、“弱い熱帯低気圧”という表現を使ってしまうと、普通の人はただ単に比較的弱いというだけで、やはり注意しないといけないと理解してくれますが、中には早合点する人もおり、たしか弱い熱帯低気圧が来た時にキャンプをしていて川の中洲に残されたという災害がありました。そのような勘違いや早合点による悲劇をなくすために、小型や弱いとかいう言葉は避けた方がよいというのが気象庁の考えです。

木　下：　パネルでご発表になった先生方のところに来ている質問で、まだ残っているものはありますか。

橋　村：　私がお話した中で新種の危険、例としまして、ブラジルおよびイベリア半島の辺りで新しい台風らしきものが発見されたというお話をさせていただきましたが、それについて質問をいただいていますので、簡単にお答えさせていただければと思います。

スライド 20

「今までの台風と同じようなものだったかどうか？」というご質問ですが、これは研究者によって意見が分かれています。ただ、我々ミューニック　リーの見方は、**スライド 20** にもあるように、台風のように渦を巻き、真ん中に目がある状況がはっきり見受けられましたので、一種の新しい台風もしくは台風に類似したものと理解しています。

また、このブラジルおよびイベリア半島のケースは、ともに陸地の方に上陸していないか、上陸したとしても大きなダメージはなかったと思います。

吉　村：　ブラジルの方は上陸していますが、人的被害は少なかったようです。

橋　村：　そのため、保険業界でもあまり大きな損害が報告されていません。しかし、少なくとも、そのような事象が新しく発生したことは事実であり、今後も発生する可能性があると考えた方がよいのではないかというのが、私どもミューニック　リーのコメントになります。

木　下：　ありがとうございました。

パネラーの先生のお答えに対してご意見がありましたら、どうぞお願いします。

質問者： 最初のスピーカー（近藤先生）の回答についてですが、最初のスピーカーは、温暖化すると何回も強調なさったと思いますが、私は大事なのはそこではないと思います。少し遡って述べますと、日本ではサンパチ豪雪（『昭和38年1月豪雪』：気象庁の正式名称）がありまして、ロンドンとカナダでも大雪がありました。ロンドンでは雪が８ｍも積もりました。それで、これは単なる自然界の異常ではないのではないかという議論が起こり、ついに原因は二酸化炭素であるとなったのですが、そこから先がWMO（World Meteorological Organization；世界気象機関）とＵＮＥＰ（United Nations Environment Programme；国連環境計画）とは意見が分かれたわけです。ＷＭＯは、これはclimatic change（気候変動）だと主張しまして数年経ちました。

すると、各国の気象機関からclimatic changeと言っていたのでは、自国が温暖化するのか、寒冷化するのか分からなければ対策の立てようがないから、はっきりどちらかに決めてほしいとの声が出ました。WMOの方は絶対決めません。あくまでclimatic changeだと主張しました。その時、ＵＮＥＰはWMOが決めないならと独断で、global warm（地球温暖化）というキャッチフレーズを作り、海岸で対岸に建っている工場群からもくもくと出ている煙を見て、まるで丸裸のような、ネアンデルタール人のようなスタイルの親子が呆然と煙を見て汗をかいている大きなポスターを世界中に配りました。以来、けんかが続いております。それで、私が近藤先生にお願いしたいのは、もともとどか雪で始まったものです。これまでも例えばサンパチ豪雪以上のゴウロク豪雪（『昭和56年豪雪』：マスコミの命名）もありましたし、モンゴルでは３年続きのゾド（雪害）があって家畜が1300万頭以上も死んだのです。ですから、温暖化というと暖かくなると錯覚する人があるので、温暖化というのは放射強制力がプラスだという意味であって、本当に暖かくなるかどうかは、その国やその土地によって大変違いますので強調しすぎないようにしていただければと思います。

近　藤： 大変貴重なコメントをいただきまして、ありがとうございます。この気候変化の地域的な現れ方というのは、地域毎にいろいろな形があり、それはいろいろな自然変動との関り合いの中で、大気の循環の中で決まっていくことですので、ご指摘のように、非常に極端な現象がいろいろな形で現れてくると思っております。

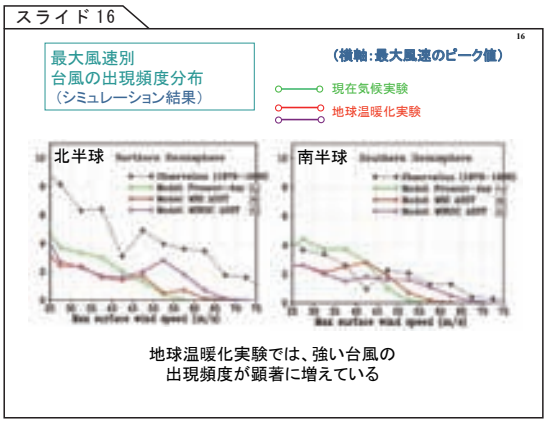
1988年以前に、WMOとＵＮＥＰの間に今のお話のようなことがあったというのは、全く知りませんでした。しかし、1988年に、その２つの機関が仲直りしたのかどうか知りませんが、共同でＩＰＣＣを設立して以来、ＩＰＣＣは独立の立場であり、決して研究をしているわけではなくて、世の中にあるpeer review（査読）の入った学術論文だけを根拠に、それを最新知見としてまとめるということに徹して、科学の立場を損ねないこと（scientific integrity）ということを一番大事な原則としてやってきていると私は聞いております。今の話は、いろいろと参考になりますので、これからも参考にしながら考えていきたいと思います。しかし、ＩＰＣＣとしては、今現在のところは、実際議論をすると白熱しますが、全体の合意に達するところでは、リーズナブルなところに落ち着いているのではないかと考えておりますし、それがあるから今日まで何とか動いてきて、それなりの役割を果たしているのではないかと思っております。

木　下：　どうもありがとうございました。では、次のご質問をどうぞ。

質問者：　吉村先生に伺いたいのですが、台風にはそれぞれ個性があり、中型でも非常に強い台風もありますし、大型でも弱い勢力のものがあります。そういうことをマスメディアでもう少し捉えられていければいいと思っています。台風の大きさと強さというのは、かなり大事なことですし、台風の進路も、すごく災害に影響するものですので、進路のこともう少し今日お話しいただければよかったと思っています。

もう１点ですが、**スライド 16** の折れ線グラフの凡例にある observation、present－day、ＭＲＩ、ＭＩＲＯＣの意味を教えていただけないでしょうか。

吉　村：　ありがとうございます。２つ目の質問ですが、observation は観測データということです。あとの３本はモデルのシミュレーション結果で、present－day は現在の気候、正確には 20 世紀の終わりぐらいの条件を与えたものです。残り２つは地球温暖化実験で、ＭＲＩ△ＳＳＴとＭＩＲＯＣ△ＳＳＴとありますが、これは与えている条件の違いです。ＭＲＩは我々気象研究所の別のモデルで計算した地球温暖化の海面水温の上昇のデータを与えたもので、ＭＩＲＯＣは東大などのグループからもらってきた海面水温の上昇のデータを与えたものです。



１つ目の質問ですが、台風毎に個性があって、勢力範囲が広い、勢力範囲は狭いけれどもすごく強いなど、細かい情報を伝えていくことが防災上極めて重要だと思いますが、言葉で小型、大型といっても、多分ピンと来ない人も多いと思います。

したがいまして、強い風が吹く可能性の分布図のようなものを出すなど、見た目で分かりやすいような情報を出していかなければいけないと思います。日本の気象庁でも工夫していますし、アメリカの気象サービスでも工夫して発表しているようですので、今後いろいろ検討を深めていかなければいけないだろうと思います。

木　下：　どうもありがとうございました。

もう１つ質問が来ております。これは一般的な質問ですから、私の手元に置いておきました。「地球誕生から約 46 億年、その中で恐竜時代が現在では大いにもてはやされているが、それは約２億５千万年前のことです。一方で、現在はまだ氷河期の中にあると言われています。地球の現在の時間を１日の中に例えれば、非常に短い時間になってしまいます。温暖化というのは、この時間スケールで見るとほんの一部分です。気候変動の活動期をどのように考えたらいいのでしょうか。氷河期からの離脱とも考えられるのでしょうか。」というご質問です。

私の考え方を一口に言わせていただくと、気候変動というのは、恐らく周期的といいますか、いろいろな段階の気候変動があったのではないか思っています。

ただ、いろいろな変動が過去においてありましたが、今、観測されているいろいろな事実からいうと、近藤先生からお見せいただいたような、急激な変動があるから、気をつけなくてはいけないというのが今回の問題です。具体的にいうと経済的あるいは損害保険という立場から見ても、損失が非常に大きくなるというようなことが注目されていると思っています。

小鹿島果（おかじま　みのる）さんという方が、今から約100年前の明治26年に過去約1300年の日本の古文書をお調べになって、年代を50年毎に区切り、洪水がどのように発生しているかをまとめておられます。『日本災異志』という本で復刻版（地人書館,1967）も出ています。それを見ますと、300年毎にピークが出ています。文部科学省統計数理研究所の本（統計数理vol.52,No.1(2004)）の表紙にも、その小鹿島さんのヒストグラムが載っております。次の洪水のピークは、大体2050年前後に起こることになっています。

小鹿島さんが日本の古文書を分析してもこのような周期性があるようです。恐らくいろいろ地球シミュレータでやっておられても、平均的なものをお出しになっているわけですから、今日ご発表になったような結論になるだろうと思います。

今、私がご紹介したようなデータもあります。また、それとは別に地理学の見地から、氷期がギュンツ（Guntz)、ミンデル（Mindel)、リス（Riss)、ウルム（Wurm）と４つあったと言います。また、最終氷期からも何か変動があると、地理学の方面からも主張しておられます。そのような中で、最近の変動というのがあまりにも急激であるというのが、今回ご発表の見解ではないかと思います。近藤先生、いかがでしょうか。

近　藤：　基本的にはそのとおりだと思います。地質時代的なことを申しますと、地球は本当に大きな変動を経てきており、今日お話した自然要因、特に太陽活動が、公転軌道や地軸の傾きの変動によって、長期的には非常に大きな変動をしており、地球に当る太陽の放射が全く違って来ていることが原因であると理解されていると思います。これはタイムスケールが全然違う話で、今お話があったような捉え方でいいのではないかと思います。

木　下：　吉村先生はこのような長期的観点から台風の発生に関係して何かお考えでしょうか。

吉　村：　台風の場合、古いデータがないことが悩ましい点で、例えば北大西洋では100年ぐらい前のデータは多少ありますが、それも数え漏らしている可能性があり、どのように現在と比較すればよいか難しいところです。橋村先生が紹介された「強い台風が増えている」という話も、昔と今とで台風の強さの評価方法が変わっているかもしれないので、自然の変化を見ているのか、人為的なデータ処理の影響を見ているだけなのか分からないということがあります。地質学的な情報を元に分かればいいとは思いますが、なかなか難しいのが現状です。

木　下：　ミューニック　リーでは、例えば古いデータを集めておられますか？フランスなどでは古いデータがあるのではないですか？

橋　村：　私の認識では、完璧なデータとして揃えきれているかという問題はありますが、古いデータがあると思います。例えば、風水災については、日本の保険業界では、大体70年の再現期間と言われている伊勢湾台風を基本に考えますが、それより古いデータを持っていたと思います。正確性がどこまであるかについては、私の記憶が定かでないため、差し控えさせていただきますが、何かしらのデータは持っているということは間違いないと思います。

木　下：　ありがとうございます。
三上先生はいかがですか。

三　上：　私はヒートアイランドの研究のほか、気候変動の研究をずっとやっています。非常に長期的な変動でいいますと、先ほどもお話があったように、氷期と間氷期は大体10万年周期で変動していまして、これはほぼ『ミランコビッチ理論』（注；地球の公転軌道や地軸の傾きの変化によって、周期的に氷期と間氷期が訪れるという理論）で説明できます。ただし、なめらかな周期的な変動というのは、必ずしも気候の場合はなくて、かなり急激な変動があります。現在は間氷期と言われている時期で、最後の氷期が終わってから約１万1,000年経っていますが、最後の氷期のピーク時である１万8,000年～２万年前と、現在の地球の平均気温の差は、５～６℃です。１万1,000年前から現在までの間の気温変化は、せいぜい1.5℃～２℃ぐらいと言われています。先ほどお話のあった、地球温暖化による気温上昇が、例えば100年で３℃ということですと、過去１万年でせいぜい１℃か２℃の変動だったものが、100年で３℃ということですから、これはかなり急激な変化です。CO_2の濃度にしても、氷期のレベルは190ppmぐらい、間氷期のレベルも過去ずっと見ますと大体280ppmですから、現在の380ppmというレベルは、異常に高い状況になっているのではないかと思っています。

木　下：　このようなタイムスケール、時間的な変化で見た時に、気候変動には速い変動、遅い変動いろいろあるようですが、加藤先生は、都市化はヒートアイランド化や気候変動よりも、何かタイムスケールが長い、遅れるのではないかというようなことをおっしゃっていたようですが、いかがでしょうか？私は都市の変化というのは結構速いというように思っていましたが、いかがでしょうか？

加　藤：　先ほどの私の発言は、地球環境変化に対する、やや大げさな切迫感からその言葉になったのかもしれません。しかし時間スケールに対する感覚の問題ですが、やはり都市づくりとなると、数十年、100年単位の時間がかかると思っています。戦後、約60年、その前関東大震災までは更に20数年ということで、急激に日本の人口が増加する中でもこれだけの時間がかかって現在の都市ができてきました。今後は急激に減少していくわけではなくて、非常になだらかに減少していきますので、今後の変化は、これまでの変化よりもゆっくりしたものになると考えています。そういう意味で、都市の再構築には長い時間がかかると発言しました。

先ほど次の災害のピークは2050年頃という説があるというお話をお伺いし、都市

づくりの観点からちょうど良い時間であると、ふと思いました。30 年とか 50 年とかいうところの節目があると、都市づくりの側としては非常に考えやすいと思っています。関東大地震が 69 年後に来るというのが、昭和 40 年代初頭に言われていましたが、あれもちょうど良い時期、都市づくりにおける時間スパンと時間スケールがぴったりはまっていました。その影響もあり、東京の地震防災対策がぐっと進んだという話があります。

ですから、そのような意味では、少し意識していただいて、そういう 50 年だとか、それぐらいの時間スケールで地球環境変化、あるいは、気候変動は、こうなり得るという話があると、良い都市づくりに結びついていくと感じています。やや科学的な発言ではないのですが、そのような動きも社会的には意味があるのではないかと思います。

木　下：　諸先生、どうもありがとうございました。今日は気候変動の話から、特に台風の発生など関するいろいろなご説明、それからヒートアイランドの話から都市づくり、保険に結びつけていくお話を、非常に総合的に諸先生に議論していただいたことを感謝しております。

それでは、このパネルディスカッションをこれで閉めさせていただきたいと思います。

本日ご参加いただいた皆さんもどうもご協力ありがとうございました。

閉 会 挨 拶

森嶌　昭夫（もりしま　あきお）

損害保険料率算出機構 理事長

森嶌でございます。本日の 2007 年災害研究フォーラムでは、災害科学研究会の委員長でいらっしゃいます高橋先生にご出席いただきまして、また基調講演は近藤先生に、パネルディスカッションは司会の木下先生はじめ、吉村・三上・加藤・橋村諸先生に最新かつ質の高い科学的な知見に基づいた議論をしていただきました。誠にありがとうございました。

４時間を超える長丁場のフォーラムにも関らず、ご参加いただきました参加者の皆様には、大変熱心に、また反論や否定的なご意見まで含めて、中身を十分咀嚼していただいた上で、議論に参加をしていただきましたことに心からお礼を申し上げます。

私ども損害保険料率算出機構の仕事の役割の一つは、例えば自動車保険や火災保険などのような損害保険の保険料率を科学的なデータに基づいて算出することでございます。そして日本国内の保険会社ならびに外国の保険会社も含めまして、会員会社の皆様の料率算定の参考に供するということは、仕事の大きな部分を占めております。

その意味で、災害科学研究会でやっていただいております科学的な仕事は、その裾野の方の基礎的な部分は必ずしもすぐさま私どもの仕事に結びつくわけではありませんが、そのような地道な仕事をしていただくことによって、結果として、保険の実際の実務に反映させることができると考えております。

この災害研究フォーラムは冒頭に高橋先生からもお話がありましたように、しばらくお休みをいただいておりまして、５年ぶりの開催になります。今回のテーマは、『気候変動が自然災害に与えるインパクト』ということで、気候変動を取り上げております。しかし実は気候変動が損害保険のリスクとしてどう評価されるべきかについての論議はまだ始まったばかりでございます。保険会社の中でもいわゆる再保険会社、例えば

ミューニック　リーやスイス　リーなどは業務の開発の最先端を走っていますが、先ほど橋村さんもおっしゃっていたとおり、どのくらい気候変動をリスクとして評価をするのかということについては、まだ模索中で始まったばかりというところがございます。
私どもも先生方に研究をしていただいて、これは最終的には保険を買っていただくコンシューマーの利益になることでありますから、研究の結果を十分踏まえてきちんとした客観的な料率算定をして、保険会社にも、コンシューマーの皆さんにも、安心をしていただけるような保険料率をお示ししたいと考えております。それには、今日ご参加の皆様からもいろいろとご意見を承りたいと思います。
　今後とも、是非このような会合に、またこのような会合だけでなく普段から私どもの活動にも関心を持っていただいて、いろいろとご意見を賜れば幸いです。
　今日は長丁場にわたりまして、本当にありがとうございました。

[付 録]

付録１．基調講演「地球温暖化の最新知見と自然災害」

付録２．話題提供 1「台風の発生数や強度の変化に関する話題」

付録３．話題提供 2「ヒートアイランド現象に関する話題」

付録４．話題提供 3「都市化・逆都市化と都市が抱えるリスクの変化」

付録５．話題提供 4「気候変動ー損害保険業界への影響」

付録１．基調講演「地球温暖化の最新知見と自然災害」

スライド１

2007年災害研究フォーラム講演 (11月20日)

地球温暖化の最新知見と自然災害：

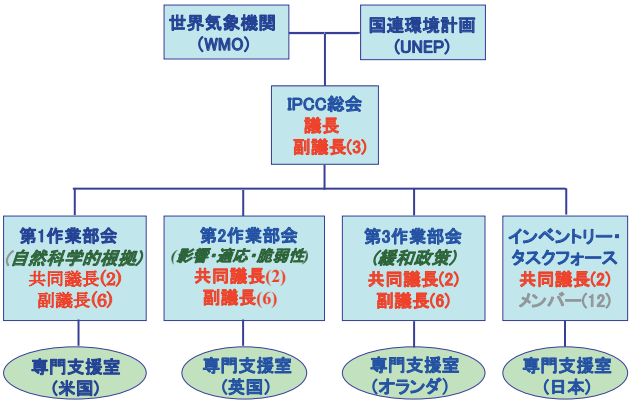
現実化した温暖化とより進展した将来予測

(独法)海洋研究開発機構(JAMSTEC)
地球環境フロンティア研究センター　特任上席研究員
近藤 洋輝

スライド２

2

第4次評価報告書(2007)へ向けたIPCC構成図



スライド３

3

IPCC第４次評価報告書(AR4)

*SPM: 政策決定者向け要約、Longer Part: 詳細部分

スライド４

4

第4次評価報告書(AR4) に向けたスケジュール

- 第１作業部会:「自然科学的根拠」
  WGI-X会合(パリ、2007年1月29日～2月1日)
- 第2作業部会:「影響・適応・脆弱性」
  WGII-VIII会合(ベルギー・ブリュッセル、2007年4月2日～4月5日)
- 第3作業部会:「緩和策」
  WGIII-IX会合(タイ・バンコク、2007年4月30日～5月3日)
- **統合報告書:**
  IPCC-XXVII会合(スペイン・バレンシア、2007年11月12日～16日)

スライド５

5

温暖化に関するIPCCメッセージの進展

○**1990年:第1次評価報告書(FAR)**
"人為起源の温室効果ガスは気候変化を生じさせる恐れがある"

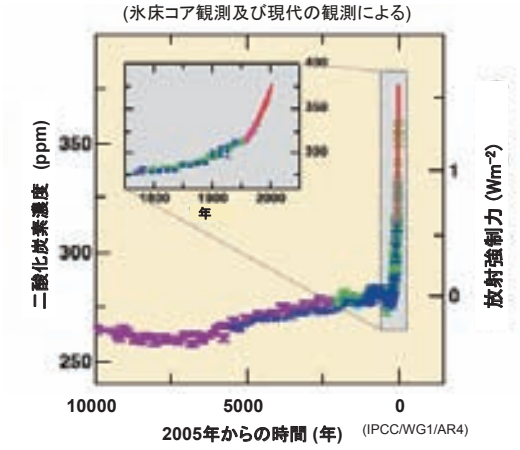
○**1995年:第2次評価報告書(SAR)**
"識別可能な人為的影響が全球の気候に現れている"

○**2001年:第3次評価報告書(TAR)**
"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(66～90%の確からしさ)"

○**2007年:第4次評価報告書(AR4)**
"地球システムの温暖化には疑う余地がない"
"20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガスの増加が温暖化の原因であった可能性がかなり高い(90～95%の確からしさ)"

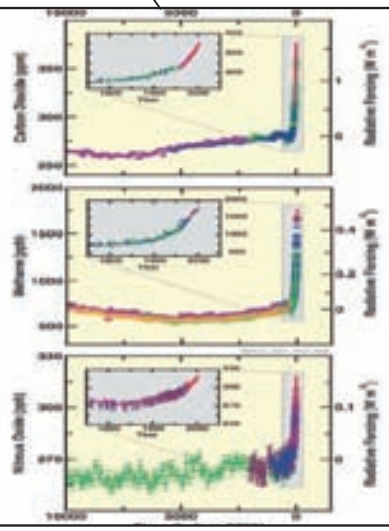
スライド６

二酸化炭素の大気中濃度の変化
(氷床コア観測及び現代の観測による)



(IPCC/WG1/AR4)

スライド 7



過去1万年にわたり氷床コア及び観測データから解析された温室効果ガス

CO_2
二酸化炭素

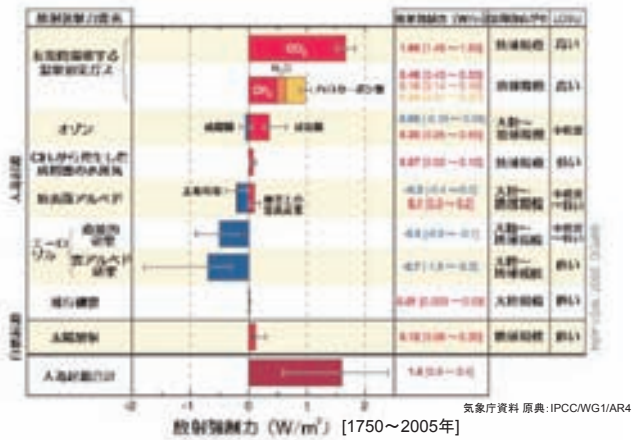
CH_4
メタン

N_2O
一酸化二窒素

スライド 8

8

放射強制力をもたらす要素



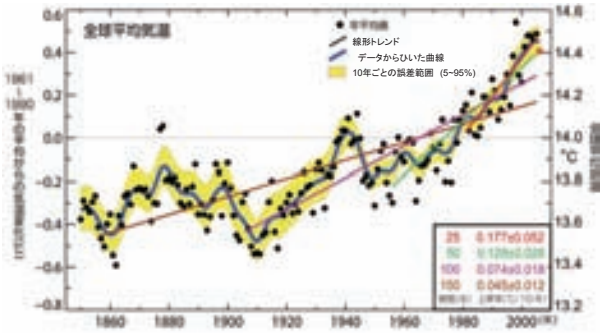
気象庁資料 原典：IPCC/WG1/AR4

放射強制力（W/m²）[1750～2005年]

スライド 9

9

世界平均地上気温の変化（1961～1990年の平均からの偏差）

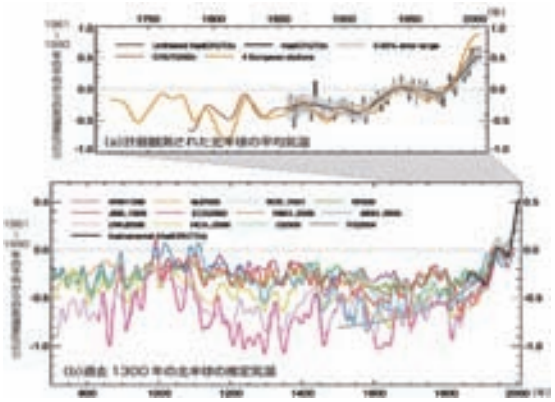


- 最近12年間のうち11年間は、1850年から現在までの間で最も暖かった。
- 1906年から2005年までに観測された100年間の気温上昇は0.74℃。これはTARの0.6℃よりも大きい。
- 最近50年間(1956～2005年)の温度上昇の傾向は、10年間に0.13℃。これは、過去100年間(1906～2005年)の傾向のほぼ2倍に相当。

スライド 10

10

過去1300年の北半球の気温の変化



- 20世紀後半の北半球の平均気温は、過去500年におけるどの50年間よりも暖かく、過去1300年の中で最も暖かい。

スライド 11

11

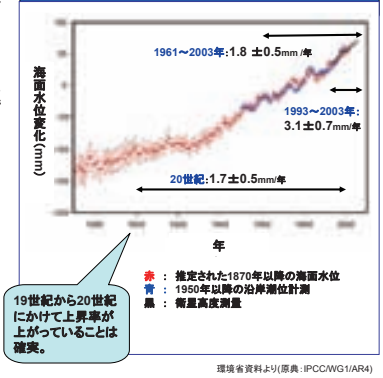
世界平均海面水位〈観測〉

- 1961～2003年における世界平均海面水位の上昇は年間1.8mm。
- 1993～2003年にかけては、年間約3.1mmと、より早い速度で上昇。
- 20世紀中の海面上昇は0.17mと推定される。
- グリーンランドと南極の氷床の消失が 1993～2003年の海面水位の上昇に寄与した可能性が高い。

出典：AR4 SPM

※ 面積が5万立方キロメートル以下の氷塊のこと。

世界平均海面水位の年平均値



19世紀から20世紀にかけて上昇率が上がっていることは確実。

環境省資料より(原典：IPCC/WG1/AR4)

スライド 12

12

観測された海面水位の上昇率と様々な要因による寄与の見積もり

海面水位上昇の要因	海面水位の上昇率(mm/年)	
	1961～2003	1993～2003
熱膨張	0.42±0.12	1.6±0.5
氷河と氷帽	0.50±0.18	0.77±0.22
グリーンランド氷床	0.05±0.12	0.21±0.07
南極氷床	0.14±0.41	0.21±0.35
海面水位上昇に寄与する個別要因の合計	1.1±0.5	2.8±0.7
観測された海面水位上昇	1.8±0.5*	3.1±0.7*
差異（観測値から気候の寄与の見積もりの総計を差し引いたもの）	0.7±0.7	0.3±1.0

表の注記：* 1961年以前のデータは潮位計のみ、1993年以降は衛星高度計の観測による

気象庁資料（原典：IPCC/WG1/AR4）

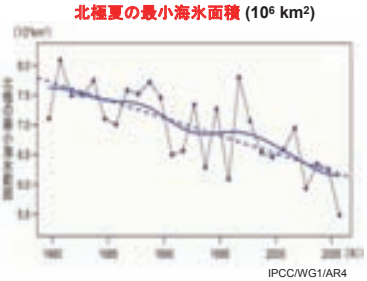
スライド 13

13

北極の海氷

- この100年間で、北極の気温は、世界全体の平均気温のほぼ2倍の速さで上昇している。
- 1978年以降の衛星データによると、北極の平均海氷面積は、10年間あたり2.7%減少。
- 特に夏季においては、10年間あたり7.4%と、より大きな 減少傾向にある。

北極夏の最小海氷面積 (10^6 km^2)



IPCC/WG1/AR4

- 潜水艦による観測データによると、1987～1997年にかけて、北極中央部の海氷の厚さは、最大1m減少した可能性が高い。

(一方 南極の海氷面積には有意な平均的傾向は見られない。)

スライド 14

14

大雨〈観測〉

- 多くの陸域で、温暖化や大気中の水蒸気の増加とともに、大雨の頻度が増加している。
- 一方で、1970年代以降、特に熱帯と亜熱帯で、より厳しく長期にわたる干ばつが観測された地域が拡大している。

出典：AR4 SPM

過去10年に、年降水量※の変化に対し、大雨の不均衡な変化が報告された地域

+と－：大雨の変化が認められた地域(+が増加、－が減少)。　グレーの地域：結果を算出した地域。

※ あるいは、ある季節の降水量。

出典：AR4　第3章　図3.39
環境省資料より

スライド 15

15

極端な気象現象の最近の傾向、予測等

現象及び傾向	20世紀後半(主に1960年以降)に起きた可能性	観測された傾向への人間活動の寄与の可能性	SRESシナリオ※1を用いた21世紀の予測に基づく将来の傾向の可能性
ほとんどの陸域で、寒い日と寒い夜の頻度が減少し、昇温	可能性がかなり高い※2	可能性が高い※4	ほぼ確実※4
ほとんどの陸域で、暑い日と暑い夜の頻度が増加し、昇温	可能性がかなり高い※3	可能性が高い(夜)※4	ほぼ確実※4
ほとんどの陸域で、継続的な高温／熱波の頻度が増加	可能性が高い	どちらかといえば※5	可能性がかなり高い
ほとんどの地域で、大雨の頻度(または総降水量に対する大雨の降水量の比率)が増加	可能性が高い	どちらかといえば※5	可能性がかなり高い
干ばつの影響を受ける地域が増加	多くの地域で1970年以降可能性が高い	どちらかといえば	可能性が高い
強い熱帯低気圧の数が増加	いくつかの地域で1970年以降可能性が高い	どちらかといえば※5	可能性が高い
高潮の発生が増加(津波を含まない)	可能性が高い	どちらかといえば※5 ※6	可能性が高い※7

※1　予測シナリオについての説明は、p36参照。
※2　寒い日と寒い夜の頻度の減少
※3　暑い日と暑い夜の頻度の増加
※4　各年の最高気温を記録した日・夜の昇温
※5　人間活動の寄与の規模は評価されていない。これらの現象への寄与は公式な寄与に関する研究よりも専門家の判断に基づいている。
※6　高潮の変化は平均海面水位の変化によく追随する。人間活動が平均海面水位の上昇に寄与している可能性はかなり高い。
※7　全てのシナリオにおける2100年の世界平均海面水位は参照された期間より高い。地域気象システムの変化が海面水位の極端な現象に与える影響はまだ評価されていない。

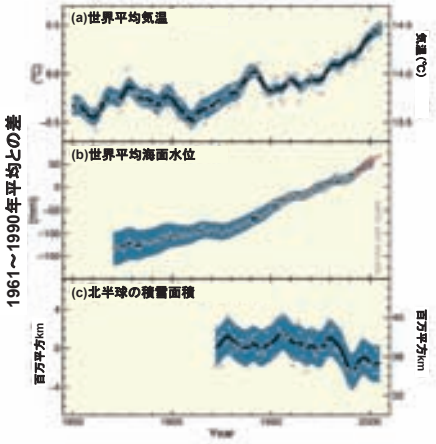
スライド 16

16

世界平均地上気温、世界平均海面水位、北半球の積雪面積

◆気候システムの温暖化には疑う余地がない。

◆このことは、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、世界平均海面水位の上昇が観測されていることから、今や明白である。

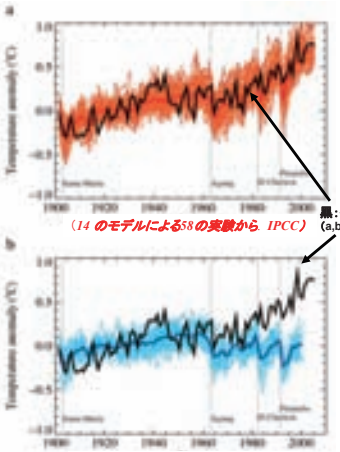


スライド 17

17

原因特定

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かなり高い(very likely)



赤：人為起源 + 自然起源の強制力

黒：観測結果 (a,bとも同じ)

(14 のモデルによる58の実験から IPCC)

青：自然起源の強制力のみ

(5モデルによる19の実験から、IPCC)

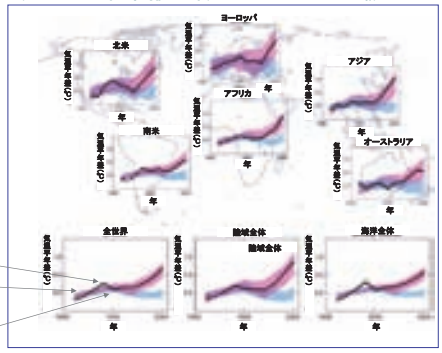
スライド 18

18

人間活動の影響

- 過去50年にわたって、南極大陸を除く各大陸において、平均すると、人為起源の顕著な温暖化が起こった可能性が高い。

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



黒：観測結果
(破線は観測面積が全体の50%未満)

赤帯：自然と人為の強制力※1 によるシミュレーション
14モデルによる58の実験

青帯：自然の強制力のみによるシミュレーション
5モデルによる19の実験

スライド 19

19

水蒸気のフィードバック

- 温暖化により気温が上昇すると、大気中の水蒸気量が増加し、温室効果を増幅させると考えられている。
  →*正のフィードバック*
- 雲によるフィードバック機構はいまだに不確実性の最大要素である。

スライド 20

20

SRES*排出シナリオ

排出シナリオに関するIPCC特別報告書(2000)

A1:「高成長型社会シナリオ」

A1FI: *化石エネルギー源を重視*

A1B: *各エネルギー源のバランスを重視*

A1T:非化石エネルギー源を重視
(新エネルギーの大幅な技術革新)

A2:「多元化社会シナリオ」

地域独自性、世界人口増加、経済成長・技術変化はばらつき、緩やかな技術革新など

B1:「持続的発展型社会シナリ

経済、社会及び環境問題で世界的対策重視、クリーン技術の導入など

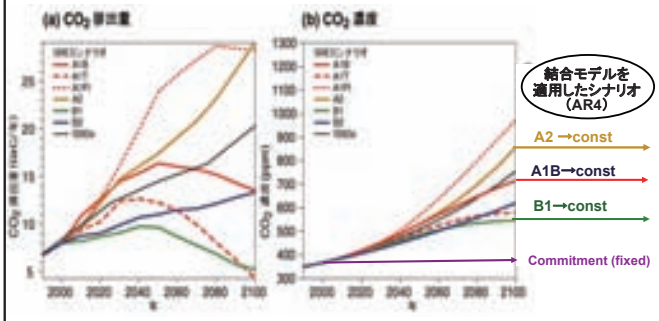
B2:「地域共存型社会シナリオ」

経済、社会及び環境問題では地域的対策重視、穏やかだが広範囲な技術革新

スライド 21

21

排出シナリオに基づいた、二酸化炭素の変化予測

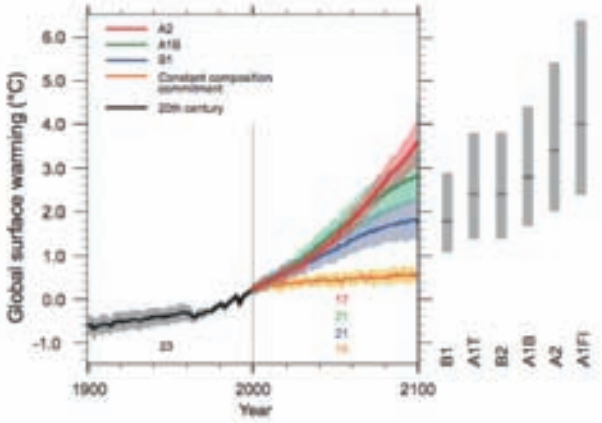


IPCC/TAR

スライド 22

22

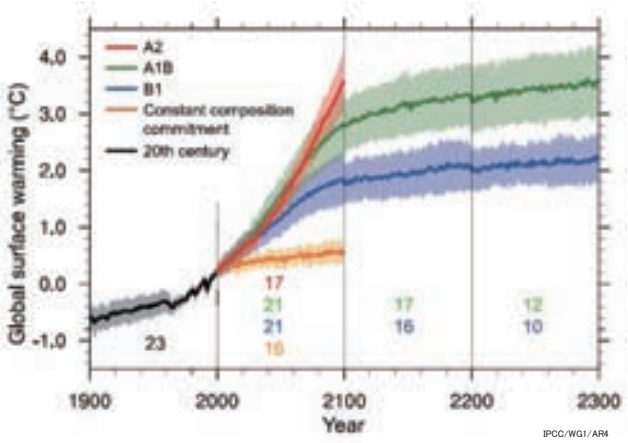
世界平均地上気温変化(再現と予測)



SRESシナリオの範囲では、今後20年間に、10年あたり約0.2℃の割合で気温が上昇することが予測される。

スライド 23

23

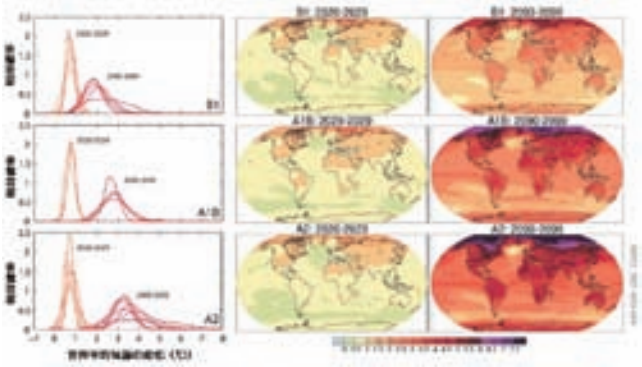


IPCC/WG1/AR4

スライド 24

24

大気海洋結合モデルによる地上気温の予測



*温暖化は、陸域及び多くの北半球の高緯度地域の陸地で最大となり、南極海と北大西洋で最小と予測。

スライド 25

25

気温地域予測(日本付近と北極域)

- 1980～1999年の20年間の平均気温を100年後(2080～2099年)の20年間と比較すると、日本を含む東アジアは平均3.3℃上昇すると予測される (A1Bシナリオ)。
- 北極は、今世紀中に最も温暖化する可能性がかなり高く、冬に最も気温が上昇する。

	東アジア (℃) 気温上昇	北極 (℃) 気温上昇
12-2月	3.6	6.9
3-5月	3.3	4.4
6-8月	3.0	2.1
9-11月	3.3	6.0
平均	3.3	4.9

※A1Bシナリオ

IPCC/AR4

スライド 26

26

気候システム-炭素循環のフィードバック

CO_2濃度の増加 ➡ 温暖化 ➡

炭素循環の変化 ➡ CO_2濃度の更なる増加

➡ 更なる温暖化

A2シナリオでは、炭素循環フィードバックにより、更に世界平均気温は1℃以上高くなる。

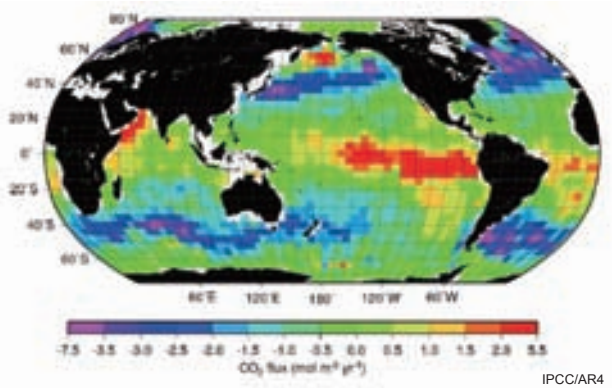
スライド 27

27

二酸化炭素の海洋におけるフラックス(放出・吸収)*

(観測から1995年基準で算定された分布)

*:海水温、塩分、pH、全炭酸濃度による



IPCC/AR4

スライド 28

28

大気中のCO2収支(最新の状況)

- 人為起源の年間CO2排出量:約72億炭素トン
  陸地や海洋の吸収:31億炭素トン
- 自然が吸収する量の範囲内にするには:
  排出量→41億炭素トン(57%)の削減の必要
- 温暖化が進むと自然の吸収能力が下がるため(フィードバックにより)、57%以上の削減が必要になる可能性ある

スライド 29

様々なモデルケースに対する、21 世紀末における世界平均地上気温の昇温予測及び海面水位上昇予測

	気温変化 (1980-1999 を基準とした 2090-2099 の差 (℃))[a]		海面水位上昇 (1980-1999 と 2090-2099 の差 (m))
シナリオ	最良の見積り	可能性が高い予測幅	モデルによる予測幅 (急速な氷の流れの力学的な変化を除く)
2000年の濃度で一定[b]	0.6	0.3-0.9	資料なし
B1シナリオ	1.8	1.1-2.9	0.18-0.38
A1Tシナリオ	2.4	1.4-3.8	0.20-0.45
B2シナリオ	2.4	1.4-3.8	0.20-0.43
A1Bシナリオ	2.8	1.7-4.4	0.21-0.48
A2シナリオ	3.4	2.0-5.4	0.23-0.51
A1FIシナリオ	4.0	2.4-6.4	0.26-0.59

注釈:

a: これらの推定は、気候気候モデル、いくつかの EMIC (中程度に複雑な気候モデル)、多数の AOGCM (大気海洋結合モデル) によって評価される。

b: AOGCM のみによる推定

TARでは、上記の全てのシナリオでほぼ同期間で **0.09～0.88 上昇**

スライド 30

30

海洋の酸性化(1) <観測・予測>

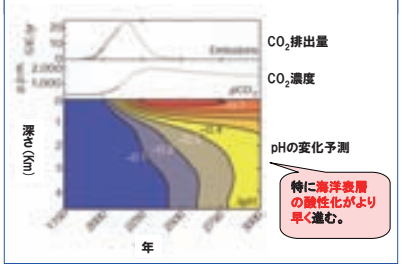
- 大気中の二酸化炭素の増加は海洋の酸性化を引き起こす。
- 産業革命以来、海洋のpHは既に*約0.1低下*した。
- 21世紀末までに、世界平均の海洋表層pHは、さらに*0.14から0.35低下*すると予測される。

出典:AR4 SPM

予測シナリオ※1の各ケースで予測すると、2100年に海洋表層の平均pHは7.95～7.74となる。この場合、南極海では21世紀後半にアラゴナイト※2が溶解するpHに達する。

出典:AR4 Fig 10.24

二酸化炭素の排出量、大気濃度及び海水pHのこれまでの変化と将来予測



特に海洋表層の酸性化がより早く進む。

出典:AR4 Final Draft 第7章 Box7.3 図1

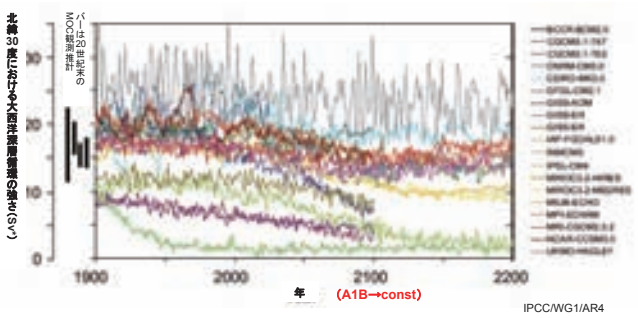
※1予測シナリオについての説明は、 p50を参照。
※2 炭酸カルシウムの結晶の一種。炭酸カルシウムの結晶形には、カルサイト(方解石) とより不安定なアラゴナイト (あられ石) があり、生物種によって形成する結晶が異なる。例えば、サンゴはアラゴナイトを、円石藻類や有孔虫はカルサイトを作る。

環境省資料

スライド 31

31

深層循環 （熱塩循環ともいう。海水の密度の違いにより生じる海洋循環）



IPCC/WG1/AR4

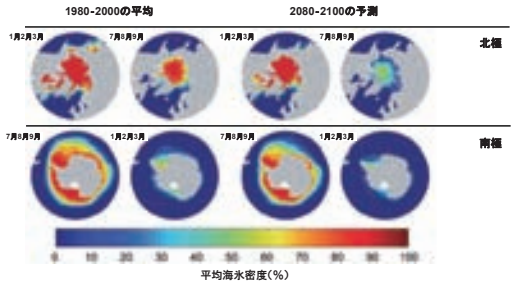
- 現在のモデル予測によると、大西洋の深層循環**は、2100年までに25%（0～50%）の減衰が予測される。*(** Meridional Overturn Circulation ;MOC、熱塩循環ともいう。海水の密度の違いにより生じる海洋循環)*
  **: Sv: 1秒あたりの海水の輸送量（×100万m^3）*

スライド 32

32

海氷面積の現状と将来予測

- 全てのシナリオにおいて、北極と南極双方の海氷が縮小すると予測されている。
- 北極の晩夏の海氷は、21世紀後半までにほとんど消失するとの予測もある。



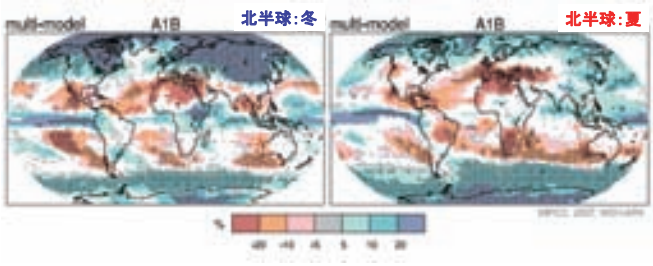
※ SRESシナリオA1Bに基づく予測。

IPCC/WG1/AR4

スライド 33

33

冬･夏の降水量分布



スライド 34

34

年間降水量分布 〈予測〉

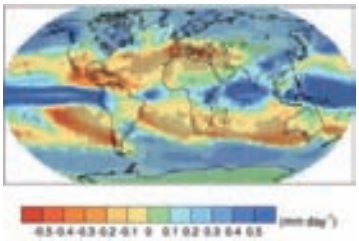
- 高緯度の地域では、かなり高い可能性で年間平均降水量の増加が見込まれる。

  東アフリカ、中央アジア、赤道近くの太平洋においても、同様に増加が見込まれる。

- 多くの亜熱帯の地域では、年間平均降水量が減少（最大で現在より20%減）する可能性が高い。

  最大の減少が予測されているのは、地中海やカリブ海、各大陸の亜熱帯気候地域の西海岸。

年間平均降水量における、1980～1999年の観測結果と2080～2099年の予測結果の差異 【A1Bシナリオ※】



（赤や茶は減少） （青や緑は増加）

出典：AR4 SPM

環境省資料より（原典：IPCC/WG1/AR4）

スライド 35

35

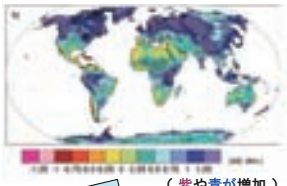
猛暑、熱波、大雨(1)〈予測〉

- 猛暑、熱波、大雨などの極端な気象は、今後ますます頻度が増加する可能性がかなり高い。

出典：AR4 SPM

極端な気象に関する、1980-1999年の観測結果と2080-2099年の予測結果の差異（偏差）【A1Bシナリオ※1】

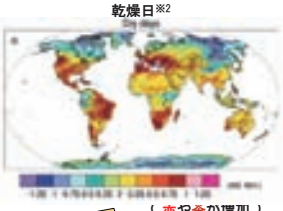
降水強度
（年間降水量を降雨日数で除したもの）



（紫や青が増加）

- ほとんどの地域で、激しい豪雨の発生頻度が増加する。

乾燥日※2



（赤や茶が増加）

- 亜熱帯地域、低～中緯度地域では、連続して降雨のない日（乾燥日）が増加する。

※1 予測シナリオについての説明は、p45を参照。 ※2 降雨のない連続日（最低5日以上）の年間最長日数。

環境省資料より（原典：IPCC/WG1/AR4）

スライド 36

36

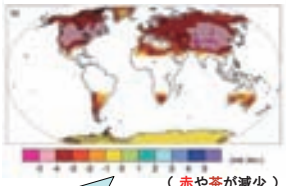
猛暑、熱波、大雨(2)〈予測〉

- 猛暑、熱波、大雨などの極端な気象は、今後ますます頻度が増加する可能性がかなり高い。

出典：AR4 SPM

極端な気象に関する、1980-1999年の観測結果と2080-2099年の予測結果の差異（偏差）【A1Bシナリオ※1】

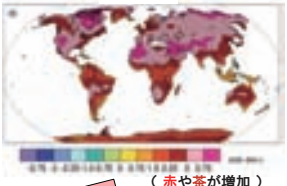
真冬日
（最低気温が氷点下の年間総日数）



（赤や茶が減少）

冬期の温暖化はより速いペースで進む。

熱波※2



（赤や茶が増加）

世界的に熱波が増加する（特に西ヨーロッパ、地中海沿岸、アメリカ西部及び南東部）。

※1 予測シナリオについての説明は、p45を参照。 ※2 最高気温が平均値より少なくとも5℃高い連続日（最低5日以上）の年間最長日数。

環境省資料より（原典：IPCC/WG1/AR4）

スライド 37

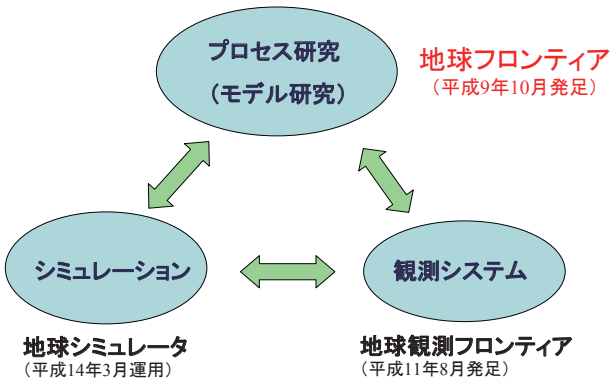
37

極端現象の将来予測

- ***猛暑、熱波、大雨などの極端な気象は、今後ますます頻度が増加する可能性がかなり高い。***
  - 冬期の温暖化はより速いペースで進む。
  - 世界的に熱波が増加する（特に西ヨーロッパ、地中海沿岸、アメリカ西部及び南東部）。
  - ほとんどの地域で、激しい豪雨の発生頻度が増加する。
  - 亜熱帯地域、低～中緯度地域では、連続して降雨のない日（乾燥日）が増加する
- ***熱帯低気圧(台風及びハリケーン)の強度は増大し、最大風速や降水強度は増加する可能性が高い。***

スライド 38

三位一体の研究開発推進体制



「地球変動予測の実現に向けて」

（旧科学技術庁航空・電子等技術審議会地球科学技術部会報告：平成8年7月）

スライド 39

39

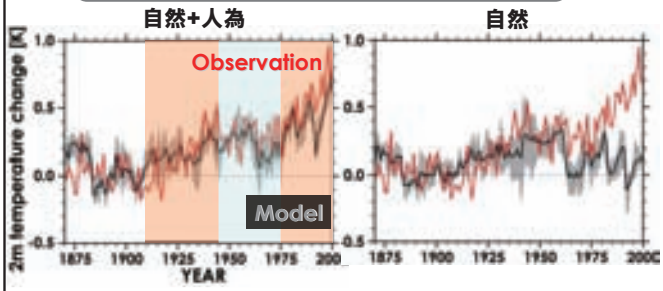
地球シミュレータの運用

- 2002年3月より稼動
- 2002年に35.86 T. Flops
  TOP500の第1位(2位は7T. Flops)
- AFES(CCR/NIES Es version)
  モデルでも26.58 T. Flops達成
- 並列化対応を済ませたモデル
  により、本格的な予測実験が実施された。

スライド 40

40

日本からのSPMに対する貢献例 ①
文部科学省「人・自然・地球共生プロジェクト」(FY2002～08)

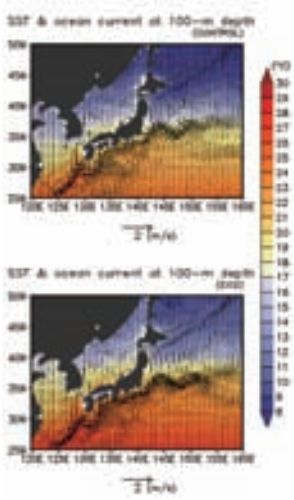


20世紀平均地上気温の変化の原因特定

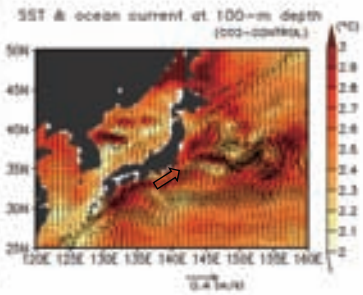
東京大学気候システム研究センター/国立環境研究所/地球環境フロンティア研究センター

スライド 41

41



Kuroshio strengthened under the global warming

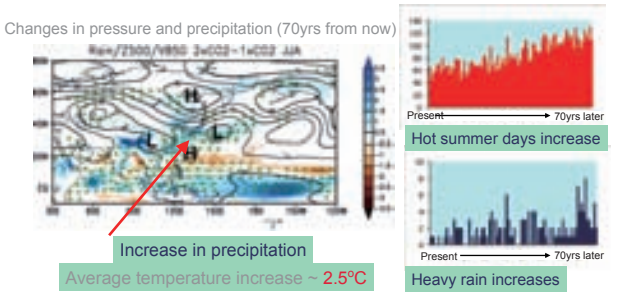


(CCSR/NIES/FRCGC)

スライド 42

42

温暖化時の夏の東アジアモンスーン



CCSR/NIES/FRCGC

スライド 43

43

日本からのSPMに対する貢献例　②
文部科学省「人・自然・地球共生プロジェクト」（FY2002～06）

全球平均気温変化予測

〔SPM結論〕

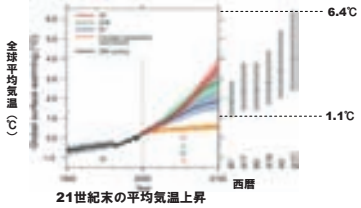
1980年から1999年までに比べ、21世紀末（2090年から2099年)の平均気温上昇を予測。

○環境の保全と経済の発展が地球規模で両立する社会
約1.8℃（1.1℃～2.9℃）

○化石エネルギー源を重視しつつ高い経済成長を実現する社会
約4.0℃（2.4℃～6.4℃）

〔我が国の貢献〕

各種シナリオに関し、国内外の予測グループと共に不確実性の幅をつけて予測する上で重要な役割を果たした。



21世紀末の平均気温上昇

スライド 44

44

日本からのSPMに対する貢献例　③
文部科学省「人・自然・地球共生プロジェクト」（FY2002～06）

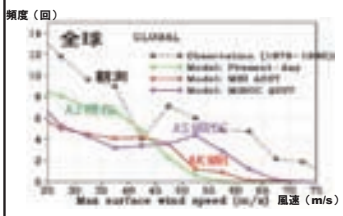
熱帯低気圧の変化予測

〔SPM結論〕

熱帯低気圧の強度は大きくなると予測。

〔我が国の貢献〕

台風やハリケーンなどの熱帯低気圧の構造(眼や眼の壁雲、渦巻き状の雲列など)を再現できる超高解像度の全球大気モデルを史上初めて開発。



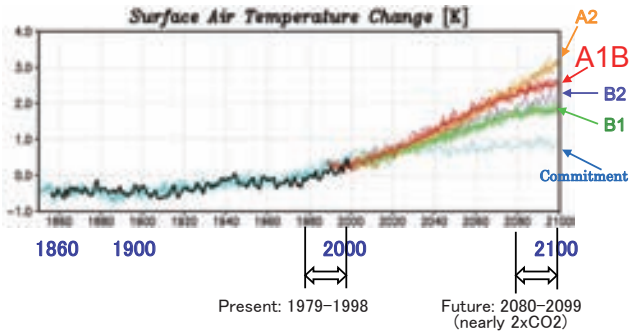
熱帯低気圧の強度別に示した年平均出現事例数の分布

21世紀末における巨大化した台風シミュレーション
解像度（大気：20kmで世界初）で台風の目を明確に再現。
さらに、台風の強度が増大傾向となることが明らかに。）

スライド 45

45

C20C simulation+SRES scenario projection
by MRI Medium resolution AOGCM (MRI-CGCM2.3<T42L30>)



スライド 46

46

極端現象指数の定義

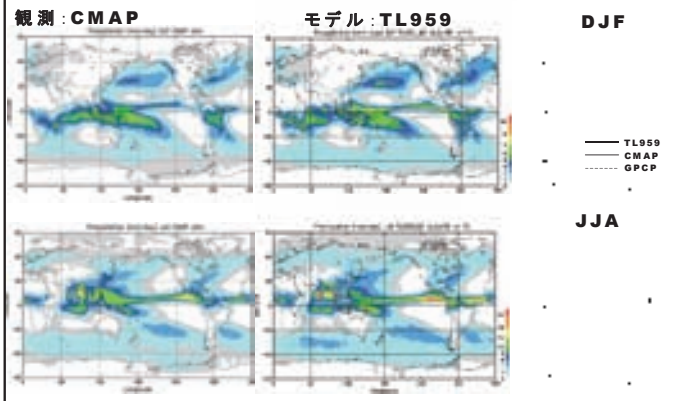
指数	単位	定義
Tav*	℃	年平均気温
Fd	days/yr	冬日(日最低気温<0℃)日数
ETR	℃	年最高と最低気温の差
GSL	days	作物成長期間: 日平均気温が5℃を5日以上連続して超えてから5℃を5日以上連続して下回るまでの日数
HWDI	days/yr	熱波期間指数: 日最高気温が平年を5℃以上上回る日の最大連続日数
Tn90	%	最低気温が長期平均の90パーセンタイルを超える割合
Pav*	mm/day	年平均降水量
R10	days/yr	10mm以上の降水の日数
CDD	days	最大連続無降水日(日降水量<1mm)数
R5d	mm	最大5日降水量
SDII	mm/day	単純日降水強度: 年総降水量を降水日(日降水量≧1 mm)で割ったもの
R95T	%	降水日の95パーセンタイルを超える部分による降水の年降水に占める割合

＊TavとPavは極端現象指数ではないが、極端現象の議論の参考のために示す。

スライド 47

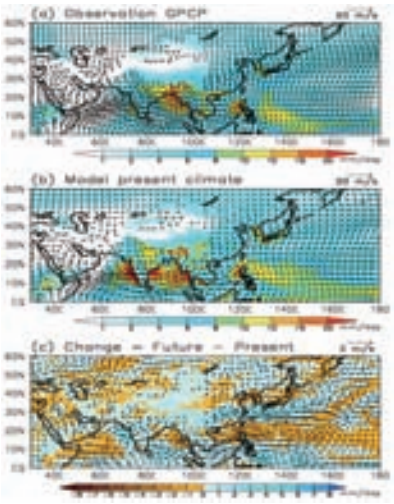
47

現在気候の再現性の検証

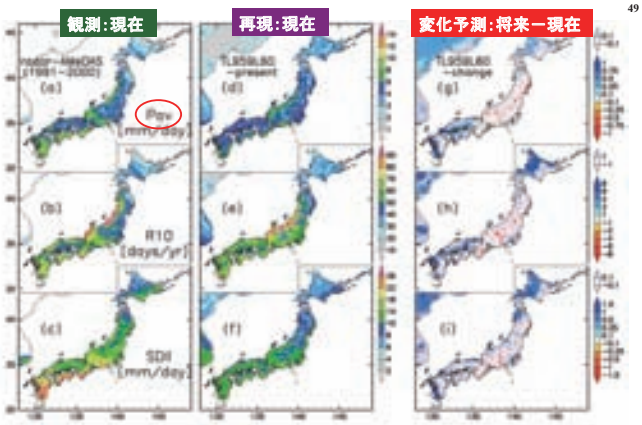


スライド 48

48

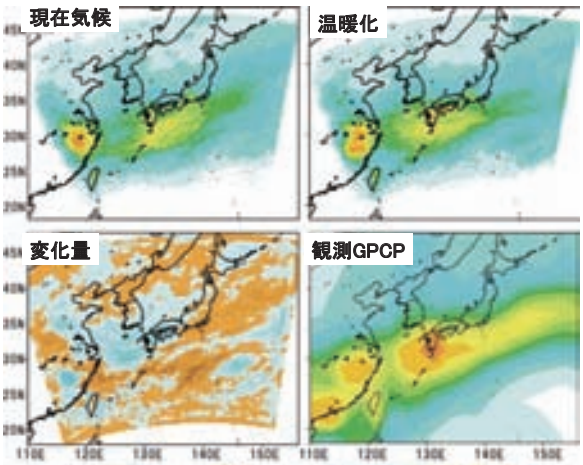


スライド 49

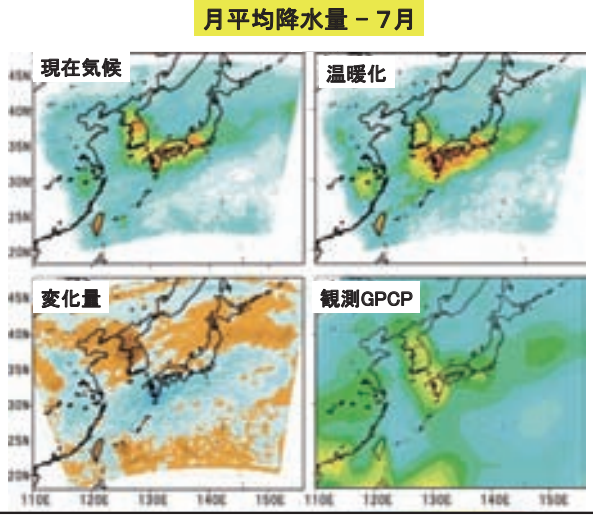


降水に関する極端指数の地理分布
(a-c): レーダーアメダスの1991年から2000年、(d-f): 現在気候実験A1、
(g-i): 現在気候A1から将来気候A1Kへの変化量。

スライド 50



スライド 51



スライド 52

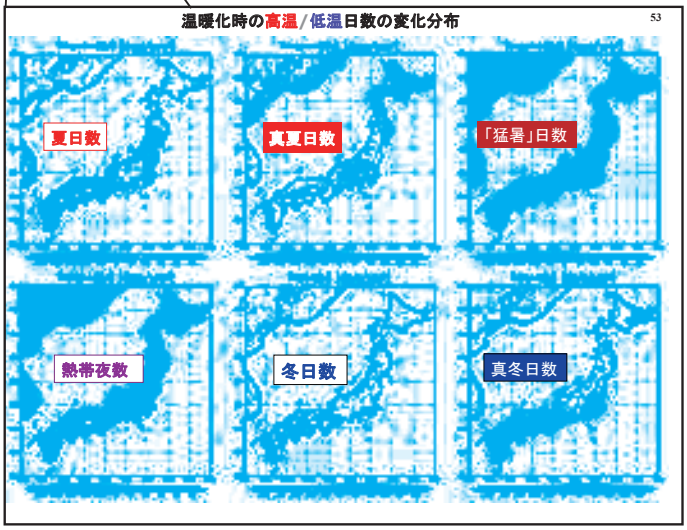
梅雨

今世紀末の変化

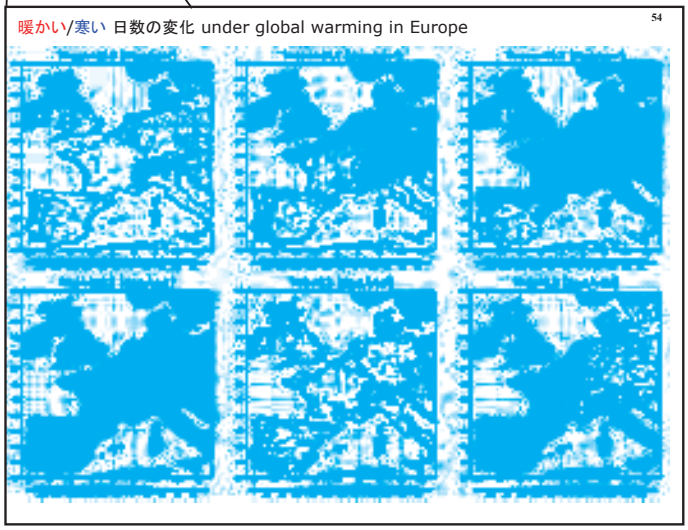
- 梅雨の北上がはっきりしない。
- 梅雨期が8月まで伸びる。
- 揚子江、東シナ海、九州で降水量が増加。
- 朝鮮半島、北日本で降水量が減少。

- **集中豪雨（30mm/時間）の発生頻度が増加**する。
- 南～西日本では梅雨前線が長時間持続すると共に、**擾乱の数が増え、降水量が増加**する。
- 九州南部では梅雨期の月平均日降水量が6mm増える。

スライド 53



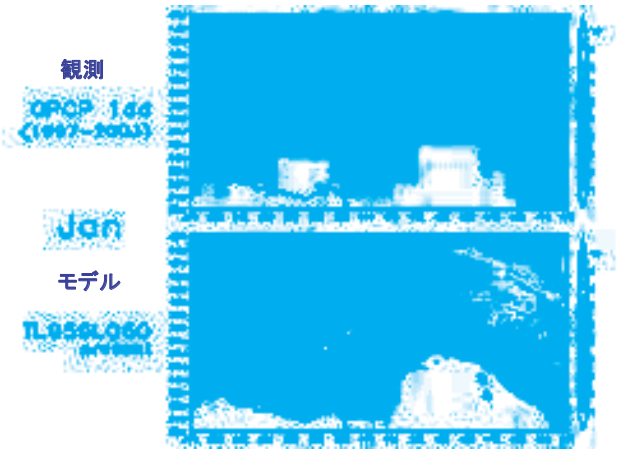
スライド 54



スライド 55

55

現在気候の降水量の再現 (1月)



スライド 56

56

日本からのSPMに対する貢献例 ④

文部科学省「人・自然・地球共生プロジェクト」(FY2002～06)

炭素循環の影響の考慮

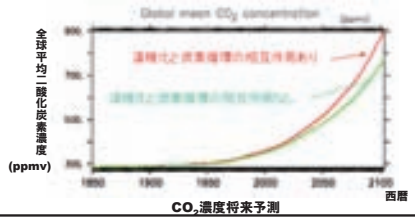
〔SPM結論〕

○温暖化により、大気中の二酸化炭素の陸地と海洋への取り込みが減少
○そのため、人為起源排出の大気中への残留分は増加する傾向
○炭素循環によるフィードバックにより、
2100年における地球温暖化を更に1℃以上上昇。

※新たな実験をA2シナリオ（多元的社会：高めの排出。地域独自性が高い経済。人口は増加。）で実施

〔我が国の貢献〕

植生の寄与など各種のフィードバックの機構を取り入れた
地球システム統合モデルを開発



CO_2濃度将来予測

スライド 57

57

WG1のAR4/SPMの主要点

- 観測とモデルの進展により、より確かな情報が得られている。
- 気候システムの温暖化には疑う余地がない。
- 近年の温暖化が温室効果ガスの増加によることはかなり可能性が高いと評価している。
- モデルが増加したことにより、将来の気候変化予測に、Best Estimate(最良の予測値)とLikely Range(予測幅)を、導入することが出来ができた。
- 今後20年の近未来の気温変化がシナリオに関わらず、予測された.
- 日本からの先端・中心的な貢献が見られる。

付録２．話題提供１「台風の発生数や強度の変化に関する話題」

スライド１

2007年11月20日 災害研究フォーラム（東京）　1

台風の発生数や強度の変化に関する話題

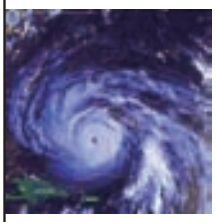
吉 村 純
気象研究所 気候研究部

気象庁のマスコット
「はれるん」

スライド２

2

台風（熱帯低気圧）

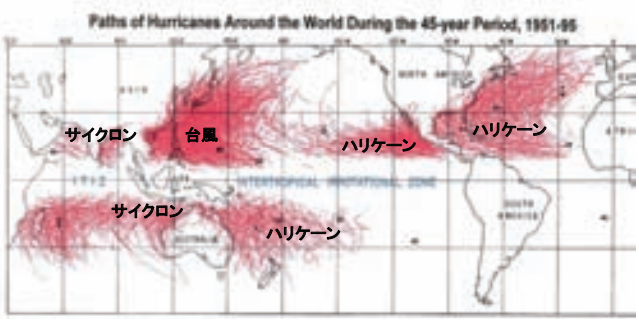


- 台風とは、おもに熱帯地方の海洋上で発生する低気圧で、前線をともなわないもの。
- 台風のエネルギー源は、水蒸気が凝結して水滴（雲粒）になるときに出る潜熱。
- ハリケーン等も同様な性質を持ち、熱帯低気圧と総称される。

スライド３

3

世界の熱帯低気圧



原図：藤田哲也・すみ子両氏の著書（1998年）より

スライド４

4

地球温暖化が進行すると？

- 台風のエネルギー源は、水蒸気の凝結によって放出される潜熱である。
- 今後、地球温暖化が進行していくと、大気中で凝結する水蒸気の総量は（100年間に）数％程度増加すると予測されている。（その結果、平均的な降水量も増加することになる。）
- これは、台風の「熱エンジン」に供給される「燃料」が増えることを意味する。このため、これまでには考えられなかった規模の暴風災害や豪雨災害がもたらされることになるのだろうか？

スライド５

5

地球温暖化が進行すると？

台風を活発化させる要因

・水蒸気量の増加

・水蒸気凝結量（降水量）の増加

台風を抑制する要因

・熱帯大気の平均的な温度構造が安定化

・対流圏の上層と下層の風向風速の違いが増加？

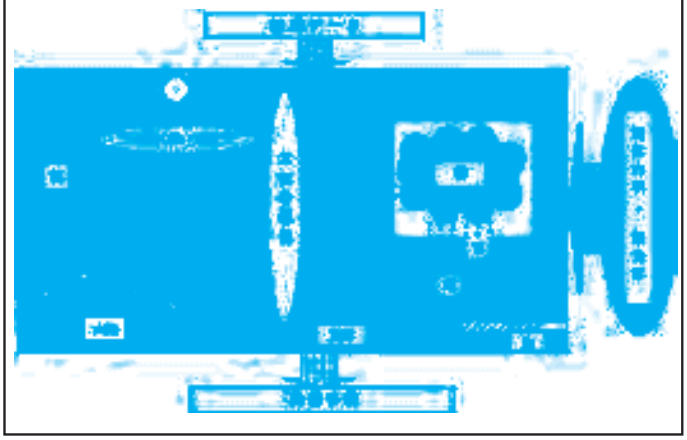
台風が活発化するのか不活発になるのか、
容易に判断できない。

→ 気候モデルの必要性

スライド６

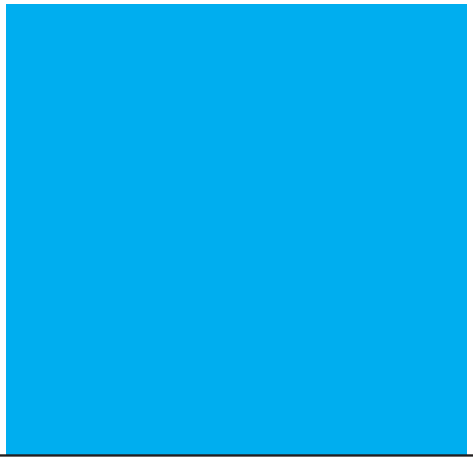
6

気候モデル（天気予報モデル）



スライド 7

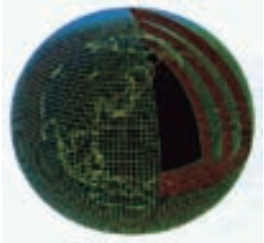
大気を3次元格子により表現



スライド 8

8

気候モデル



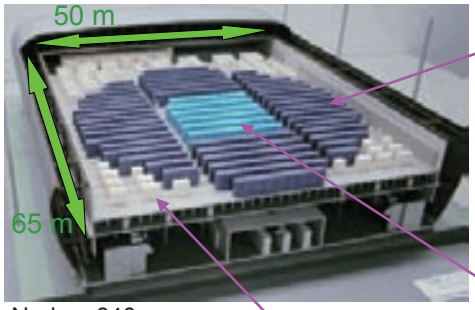
- コンピュータ上で走らせるプログラム。
- 大気を多数の「格子」に分割し、それぞれの格子点で温度・湿度・気圧・風などを表現。
  海洋の格子点でも温度や塩分濃度などを表現。
- 時間的な変化を計算。
  長期間の計算により平均的な状態（＝気候）を求める。
- 天気予報に使うプログラムと基本的には同じもの。

スライド 9

9

地球シミュレーター

（2002年より稼働、横浜市金沢区）
海洋研究開発機構



Node (8 CPU)

Crossbar switch

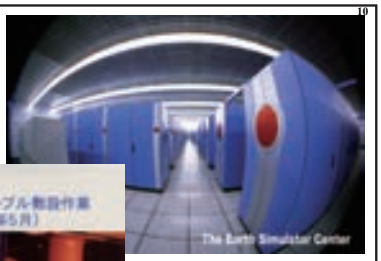
Nodes: 640
CPUs: 5120
Peak performance: 40 Tera flops

Magnetic Disks

http://www.es.jamstec.go.jp/esc/jp/ES/index.html

スライド 10

10



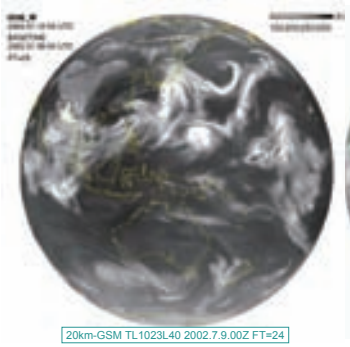
・地球シミュレータ開発費用（NEC担当）
400億円（建設費は除く）
・運用の費用（電気代・人件費など）
年間50億円

スライド 11

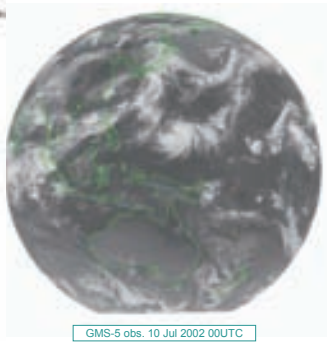
11

全球数値予報の実験

(09 Jul 2002 00UTC, FT=24, GMS-IR forecast images)



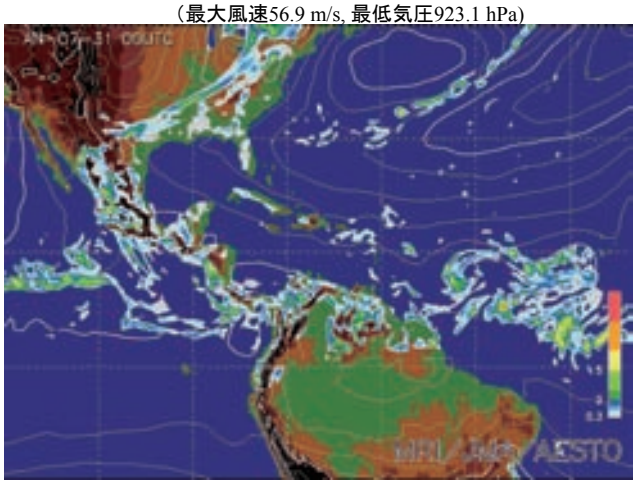
24時間予報（シミュレーション結果）



現実大気（衛星画像）

スライド 12

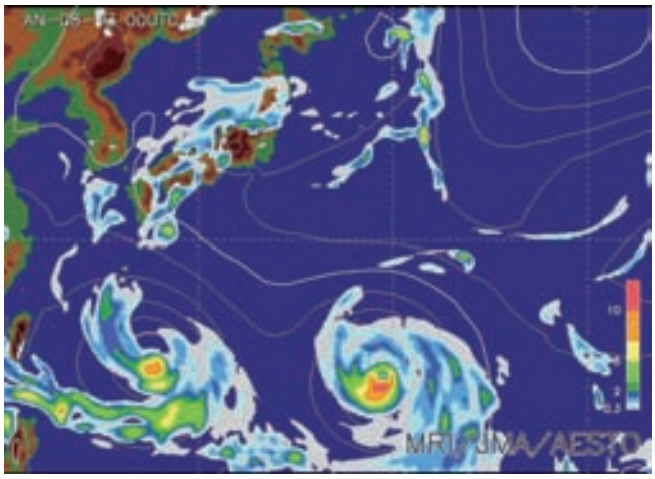
動画　地球温暖化実験(AN)で発生したハリケーンの例 12
（最大風速56.9 m/s, 最低気圧923.1 hPa）



スライド 13

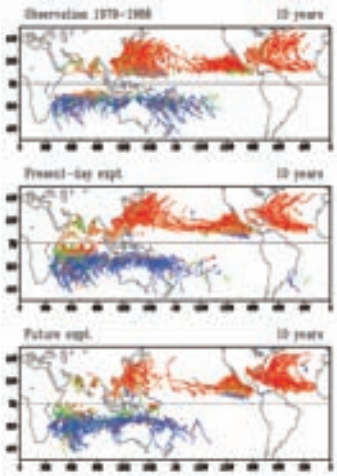
13

動画　地球温暖化実験で発生した台風の例



スライド 14

14



観測データ

年平均83.7個

シミュレーション結果：
現在気候

年平均78.3個

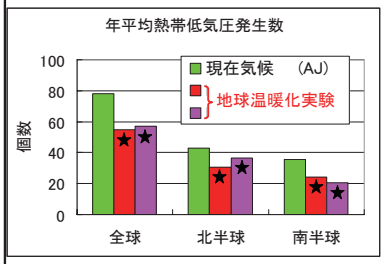
シミュレーション結果：
地球温暖化

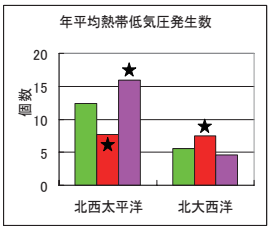
年平均54.8個
（30%減少）

スライド 15

15

台風の発生数（シミュレーション結果）





★ 現在気候実験と比べて有意な変化（信頼係数95%以上）

スライド 16

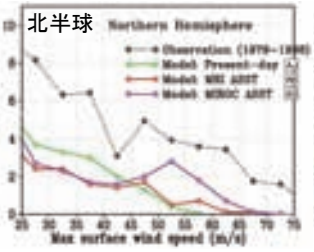
16

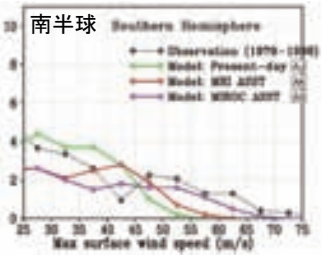
最大風速別
台風の出現頻度分布
（シミュレーション結果）

（横軸：最大風速のピーク値）

現在気候実験

地球温暖化実験





地球温暖化実験では、強い台風の
出現頻度が顕著に増えている

スライド 17

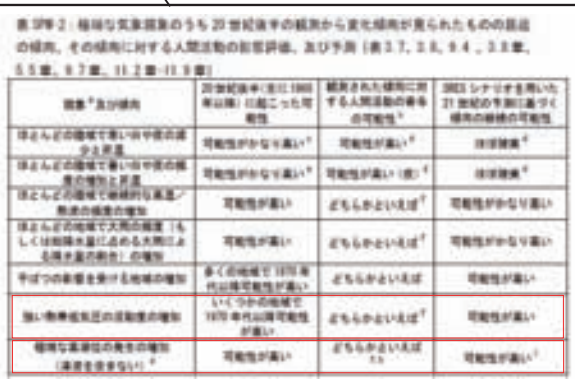
17

各年に出現した熱帯低気圧のうちもっとも強い最大風速。
（シミュレーション結果）

Maximum surface wind	現在気候 10 years	地球温暖化 10 years	
Global	49.3	56.0	有意に増大
Northern Hemisphere	47.0	54.2	有意に増大
Southern Hemisphere	47.6	50.8	
North Indian Ocean	30.6	25.2	
Western North Pacific Ocean	45.8	44.8	
Eastern North Pacific Ocean	39.9	37.9	
North Atlantic Ocean	43.4	52.2	有意に増大
South Indian Ocean	46.5	50.3	
South Pacific Ocean	44.0	34.1	有意に減少

スライド 18

18



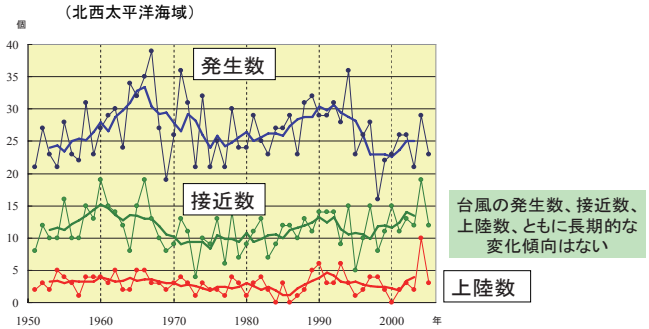
気候変動に関する政府間パネル(IPCC) 第4次報告書(2007年)より

スライド 19

19

台風の発生数、上陸数、接近数の変化

（北西太平洋海域）



細線は，台風の発生数（青），日本（小笠原，南西諸島含む）への接近数（緑）及び上陸数（赤）の経年変化。
太線は，それぞれの5年移動平均。

「異常気象レポート2005」より

スライド 20

20

地球温暖化と台風の関係 まとめ

- 地球温暖化は進行しつつあるが、すでに台風やハリケーンの活動に影響を与えつつあるのかどうかの議論はまだ決着していない。
- しかし、地球シミュレータなどを使った大気シミュレーションによると、今後、非常に強い勢力を持つ台風・ハリケーンの出現は増えると予測される。

→ 地球温暖化を抑制すること、
従来型の防災対策を強化していくこと、
科学的な研究を深めていくこと、
などが不可欠であると考えられる。

スライド 21

気象庁のマスコット
「はれるん」

Thank you!

ありがとうございました

付録３．話題提供２「ヒートアイランド現象に関する話題」

スライド１

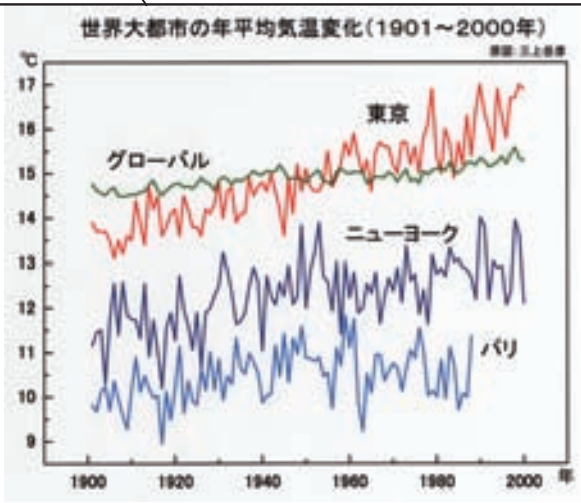
1

ヒートアイランド現象に関する話題
－都市の気候変動と都市型豪雨－

三　上　岳　彦
首都大学東京・都市環境学部

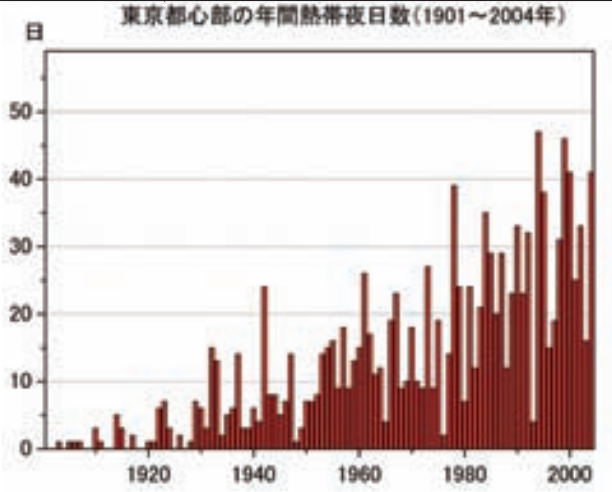
スライド２

2



スライド３

3



スライド４

4

ヒートアイランドの形成メカニズム

①都心部を中心とする人工排熱の増加による大気の直接加熱

都区部の年間平均人工排熱量は約24W/㎡
→　東京地域で受け取る年間平均日射量の20%

②都市地表面の人工化による熱収支の変化

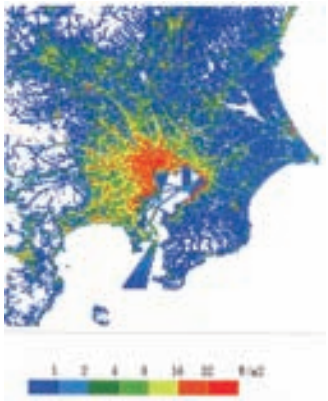
日中に日射エネルギーを蓄熱、夜間に放熱
→　最低気温上昇　→　熱帯夜の増加

③緑と水辺空間の減少　→　蒸発による潜熱減少

スライド５

5

首都圏の人工排熱（熱消費量）マップ：1998年度



スライド６

6

東京都立大学と東京都環境科学研究所が共同で都内に高精度・高密度の気象観測システム(METROS)を展開
2002～2004年度

- ビルの屋上20カ所に、風向・風速、気温・湿度、雨量、気圧の測器を設置。10分毎の観測データをリアルタイムで回収。
- 小学校（区内100校）の百葉箱内に小型温湿度自動測定記録装置を設置。10分毎の観測データを約1ヶ月半間隔で回収。

スライド 7

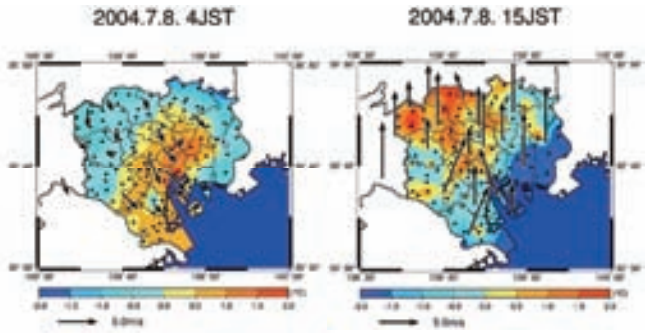
7

都区内120地点観測網

スライド 8

8

都区内気温偏差分布 2004年7月8日



スライド 9

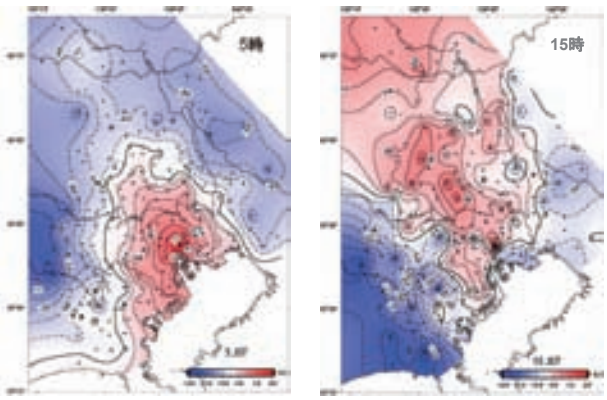
9

ヒートアイランドの広域化に対応するため、広域METROSを設置
（2006年5月より観測開始）

スライド 10

10

首都圏における夏季の気温偏差分布（2006年）

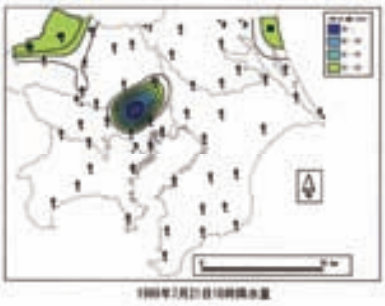


スライド 11

11

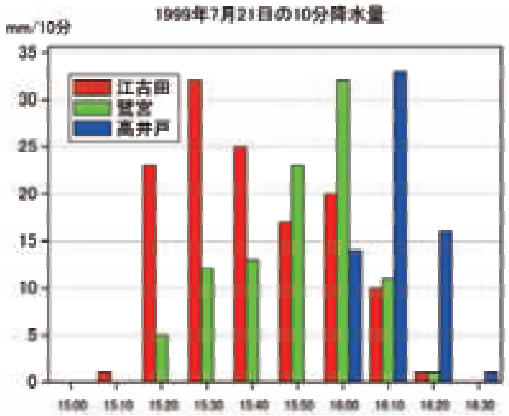
典型的な「都市型豪雨」の事例

★1999年7月21日の午後3時～4時の1時間雨量分布
★ピーク時の1時間雨量は131mmを記録
★雨域は練馬を中心とする狭い範囲に限られ、都内の大部分では降雨は記録されなかった



スライド 12

12

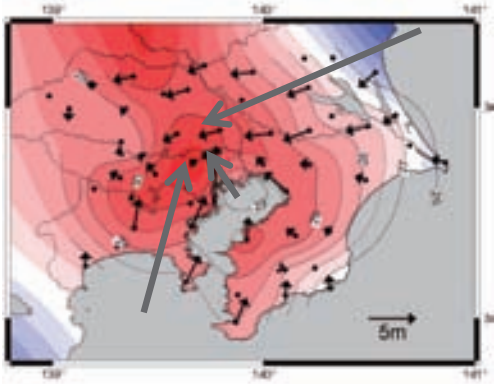


スライド 13

13

都市型豪雨開始1時間前の気温と風

東京湾海風、相模湾海風、鹿島灘海風がヒートアイランドの中心付近（練馬あたり）で収束して強大な積乱雲が発生し、1時間50～100ミリの集中豪雨をもたらすことがある

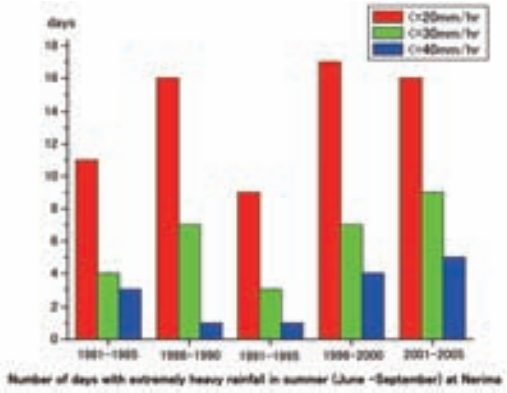


スライド 14

14

都内では短時間強雨が増える傾向にある

AMeDAS練馬における夏季（6～9月）の強雨回数



スライド 15

15

皇居クーラー4度下がった

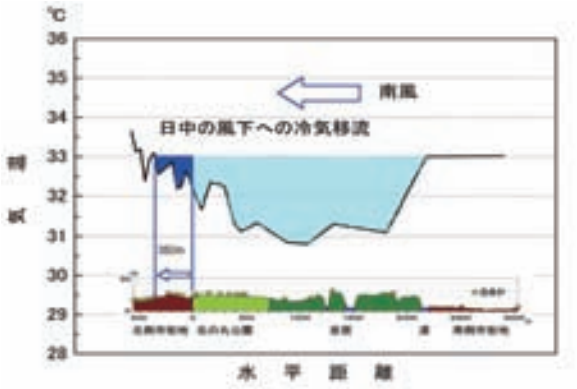
毎日新聞2007年10月5日

スライド 16

16

皇居緑地から風下市街地への冷気移流

2007年8月2日～6日の12時～14時の平均



付録４．話題提供３「都市化・逆都市化と都市が抱えるリスクの変化」

スライド１

1

都市化・逆都市化と都市が抱えるリスクの変化

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻
加藤孝明
kato@city.t.u-tokyo.ac.jp

スライド２

2

自己紹介

- 東京大学大学院・工学系研究科・都市工学専攻
  - 都市工学専攻　＝　都市計画，まちづくり
- 専門分野：安全・安心の視点が中心
  - 対象：
    - 特に突発的な危機：地震災害

都市災害の科学的解明
災害現象の解明　／　防災性評価技術

防災まちづくり　／　行政の防災計画

計画支援システム
GIS（地理情報システム）

- ゆっくりとした危機水害：
  - 地球環境変化に伴う異常気象の常態化　⇒　広域ゼロメートル市街地
  - 人口減少に伴う市街地の縮退（逆都市化）
- 主なフィールド
  - 木造密集市街地／広域ゼロメートル地域／
  - 行政・コンサルタント／ソフトウェア会社

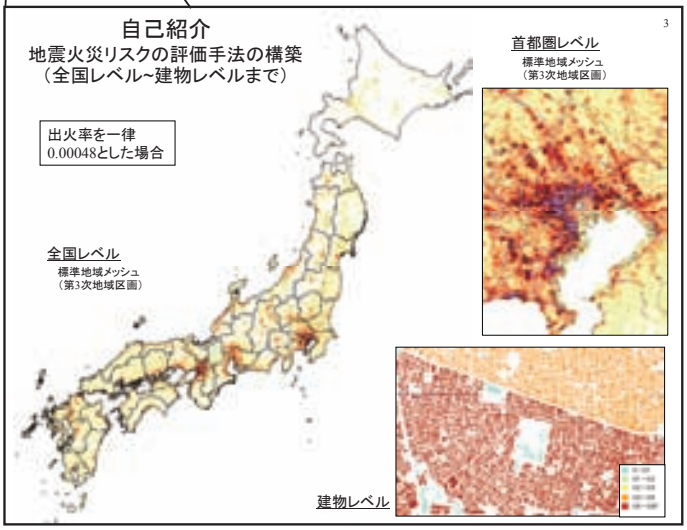
スライド３

3

自己紹介

地震火災リスクの評価手法の構築
（全国レベル~建物レベルまで）

出火率を一律
0.00048とした場合

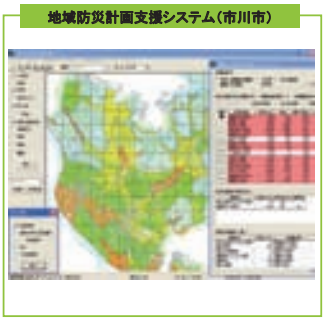


スライド４

4

自己紹介

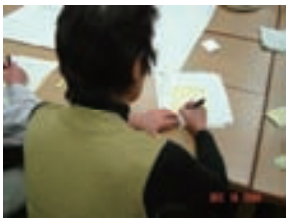
GISを基盤技術とした計画支援システム



スライド５

自己紹介

第１回「広域ゼロメートル市街地」・水害対策WSの様子



スライド６

大都市問題としての災害問題

- 大都市が抱える危機
  - 日常的な危機
  - 突発的な外力による危機
    - 自然災害：**地震，水害**，‥‥
  - ゆっくりと忍び寄る危機
    - **地球環境変化**：異常気象の常態化による水害リスクの高まり
    - **世帯減少**：それに伴う市街地の縮退
- 都市災害＝大都市問題の本質
  - ①　**集積＝被害ボリューム**
  - ②　**都市に存在するハザードの分布×市街地の分布**
  - ③　**市街化の変容に伴うリスクの増減**
    - ハード面：高密化，老朽化，‥‥
    - ソフト面：地域社会の脆弱化，高齢化，危機意識の希薄化‥‥
    - 相互に連関

スライド 7

都市化・逆都市化と都市が抱えるリスクの変化

・都市化の過程におけるリスクの変化を振り返り，

・これからの時代に考えるべきことを問題提起

スライド 8

8

これまでの時代を振り返る
急速な市街地面積の拡大

スライド 9

9

東京都防災都市づくり計画（1997，2002見直し）の基本図

木造密集市街地の改善

・関東大震災後の郊外化
・戦後の都市人口の受け皿

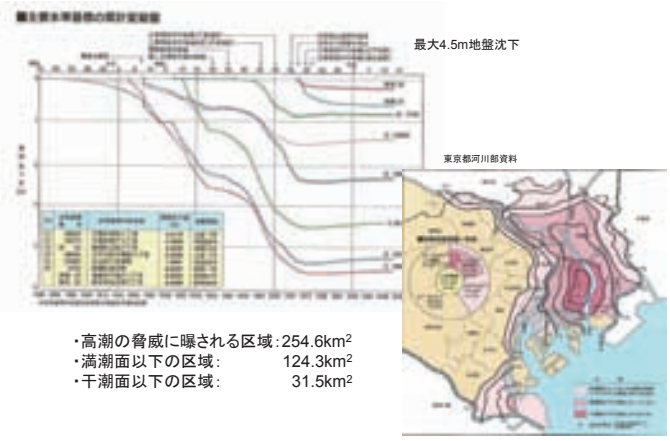
市街化の変容に伴うリスクの増減

東京都都市整備局

スライド 10

10

これまでの時代を振り返る
地盤沈下とゼロメートル地帯の出現



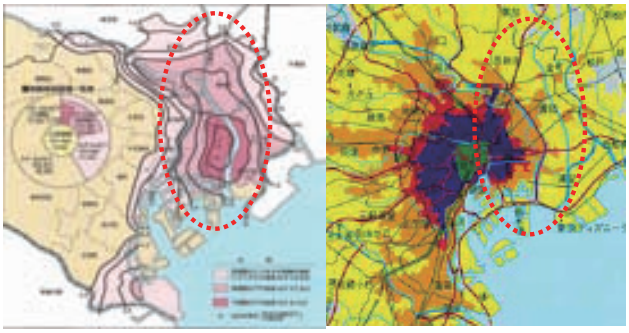
・高潮の脅威に曝される区域：254.6km²
・満潮面以下の区域：124.3km²
・干潮面以下の区域：31.5km²

スライド 11

11

これまでの時代を振り返る
「広域ゼロメートル市街地」の出現

- 都市に存在するハザードの分布×市街地の分布
- 市街化の変容に伴うリスクの増減



スライド 12

12

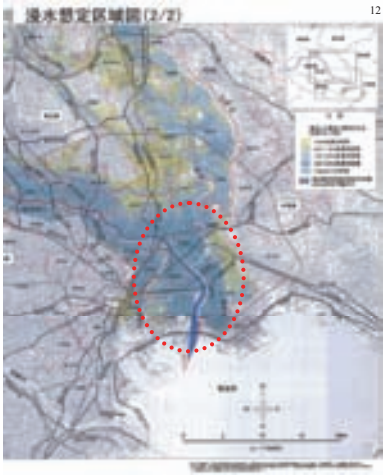
「広域ゼロメートル市街地」

①対策が困難
- 通常の発想では，避難場所を近隣に確保できない．

②市民の意識が低い
- 排水機能の向上し，被災経験がない．

③ハザードが大きい
- 想定される被害規模が甚大．
- 地震水害の恐れもゼロではない．

④長期的な取り組みが必要
- 地球環境変化をふまえた長期的な取り組みが必要



国土交通省荒川下流河川事務所

スライド 13

13

東京都地域防災計画

スライド 14

14

都市が抱えるリスクと都市化の制御
―理想論的に―

- ①集積＝被害ボリューム：×
  - 都市で人口を受け止めるという時代の必然
- ②都市に存在するハザードの分布×市街地の分布：×
  - ハザードの高い区域への市街地の進出 ← 都市計画
- ③市街化の変容に伴うリスクの増減：×
  - 広範な地盤沈下
  - 地域社会の高齢化＝核家族化による高齢者だけ世帯の増加 ← 住宅問題，土地問題
  - 老朽市街地＝更新されにくい市街地（木造密集市街地）の形成 ← 都市計画

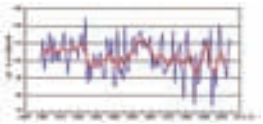
- 「都市が抱えるリスク」の観点を組み込んだ市街地の制御があり得たのではないか
  - 土地が有する「ハザード」とリンクした市街化区域の「線引き」，土地利用規制，建築の形態規制
  - 周辺市街地の脆弱性を補完するような空間の整備

スライド 15

15

これからの時代をみる

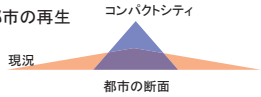
- 地球環境変化
  - 異常気象の常態化
    - 降水パターン変化
  - 海水面上昇
  - ⇒水害リスクの増加



国土交通省資料

降水量の変動大きくなっている
日本における年降水量の経年変化（1898年～2004年）

- 地球環境配慮型都市への再構築の要請
  - 都市構造の再構築と市街地の再編成
  - コンパクトシティ ＝ CO_2抑制型の都市，都市の再生

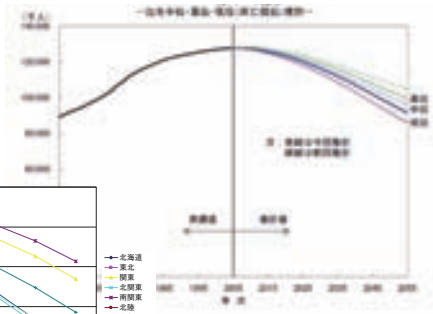


- 逆都市化
  - 人口減少 ⇒ 世帯減少 ⇒ 住戸数減少 ⇒ 市街地縮退（低密度化，or，面積減少）
    - すでに総人口は減少傾向へ
    - 一般世帯総数は，2025年までに44都道府県（宮城・滋賀・沖縄を除く）で減少に転じる．⇒ 住戸数減少

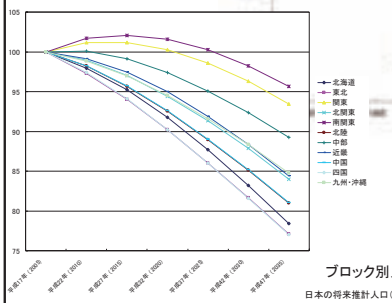
スライド 16

16

人口予測



総人口予測
日本の将来推計人口（平成18年12月推計）（国立社会保障・人口問題研究所）



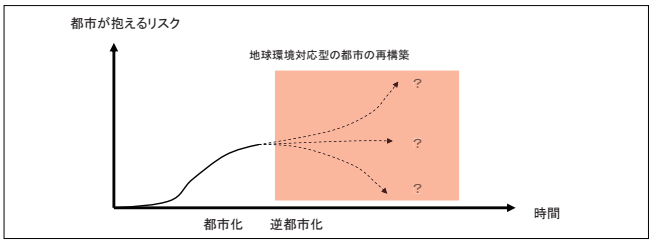
ブロック別人口予測
日本の将来推計人口（平成19年5月推計）（国立社会保障・人口問題研究所）をもとに作成

スライド 17

17

都市が抱えるリスクと都市の再構築

- 都市の再構築をせまる二つの要請
  - 地球環境対応
  - 逆都市化への対応
- **都市の再構築を都市が抱えるリスクを劇的に減少させる機会と位置づけるべき**
  - 「都市が抱えるリスク」の観点を組み込んだ都市の再構築，市街地の再編成
    ⇔ 都市化における反省をふまえ
    - ハザードの高い区域からの市街地の低密度化，撤退，等



スライド 18

18

「気候変動が自然災害に与えるインパクト」
～近未来の自然災害はどう変わる～

- **自然災害の受け皿である「都市の変容のあり方」**
  - 都市化の反省を活かせるかどうか
  - 都市の再構築，市街地の再編成において
    リスク制御の観点を位置づけられるかどうか

方法論の確立
速度感覚：都市の変化 vs 地球環境変化

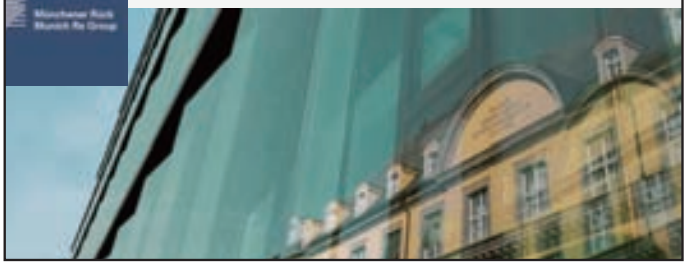
- **生活・社会のあり方**
  - 災害に遭ったとしても，被害を軽減できるライフスタイル
  - 災害に遭ったとしても，被害を軽減できる社会的しくみ
- **ハードな技術の自然の外力との付き合い方**
  - “Against” から “with” へ，か？

付録５．話題提供４「気候変動ー損害保険業界への影響」

スライド１

気候変動　ー　損害保険業界への影響

ミューニック リー ジャパン サービス（株）
損害保険部
橋村　芳徳



スライド２

気候変動　ー　損害保険業界への影響

- 世界および日本の自然災害の損害統計
- 気候変動に関する周知の事柄と今後の予測
- 北西太平洋地域の熱帯低気圧活動
- リスクモデリングが示す、危険要素の変化による影響
- 損害保険業界への影響

スライド３

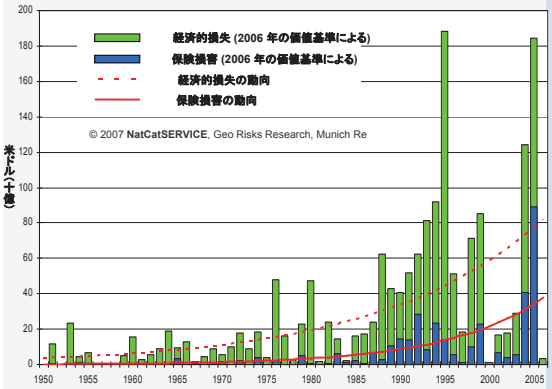
世界および日本の自然災害の損害統計

3

スライド４

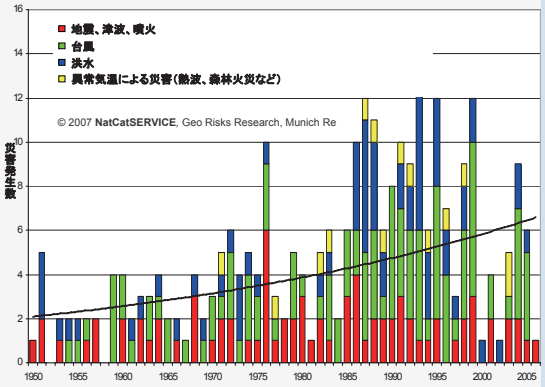
世界の巨大自然災害　1950 – 2006

経済的損失および保険損害



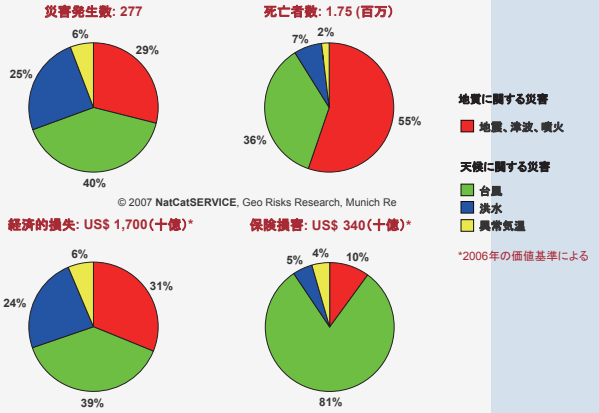
スライド５

世界の巨大自然災害　1950 – 2006



スライド６

世界の巨大自然災害 1950 - 2006



スライド 7

世界各地で自然災害による被害が劇的に大きくなっており、
頻度も上昇。

社会経済的な要因の変化が理由

- 人口増加により、大都市や沿岸部に人口や資産が集中

-災害が発生しやすい地域に、インフラが集中

資産の集中による様々な問題が集積
(港湾地区、倉庫など)
=>非常に無防備な地域

- 現代社会や近代科学は、自然災害に弱い

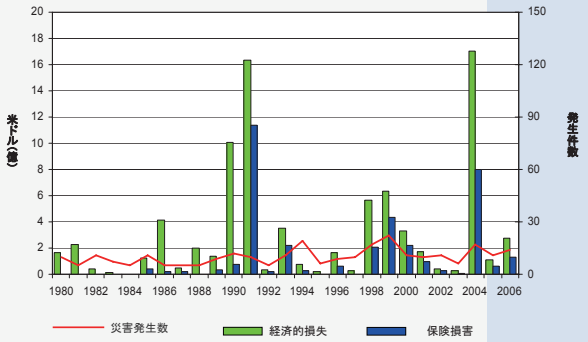
… 環境条件の変化

➔リスクを知る: 潜在的なリスクの変化を特定

スライド 8

気候変動に関する日本の自然災害 1980 – 2006

経済的損失および保険損害

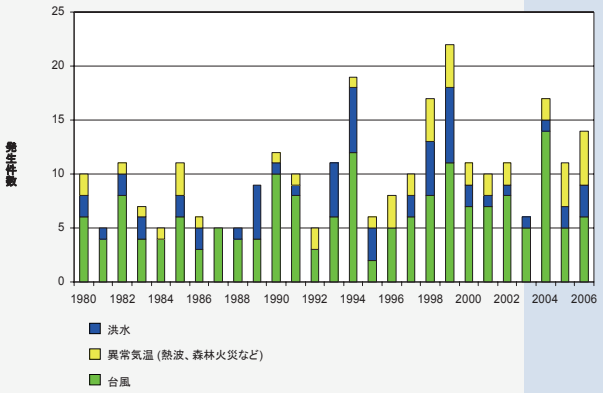


8

スライド 9

気候変動に関する日本の自然災害 1980 – 2006

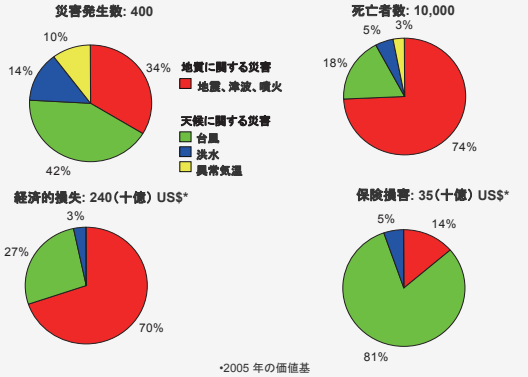
災害発生数



9

スライド 10

日本の自然災害 1980-2005



•2005 年の価値基準による

© 2006 Munich Re NatCatSERVICE®

スライド 11

日本で保険損害の大きかった 上位10個の台風 (1980-2006)

発生年月日	台風	経済的損失 (百万米ドル)	保険損害 (百万米ドル)	死亡者数
1991年 9月26～28日	ミレイユ(No.19)	15.500	10.800	62
2004年 9月6～8日	ソンダ (No.18)	10.000	5.200	41
1999年 9月22～25日	バート (No.18)	6.200	4.300	26
1998年 9月22日	ヴィッキー/ ワルド (No.7/8)	3.800	2.000	18
2004年 10月19日～21日	トカゲ (No.23)	2.500	1.400	80
1993年 9月2～4日	ヤンシー (No.13)	1,900	1,400	87
2004年 8月30～31日	チャバ (No.16)	2.200	1.300	14
2006年 9月16～19日	シャンシャン(No.13)	2.600	1.200	9
2005年 9月6～8日	ナビ (No. 14)	1,100	590	25
2001年 8 月21～23日	パブック	940	590	8

© 2007 Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, Geo Risks Research, NatCatSERVICE

*in 2006 values

11

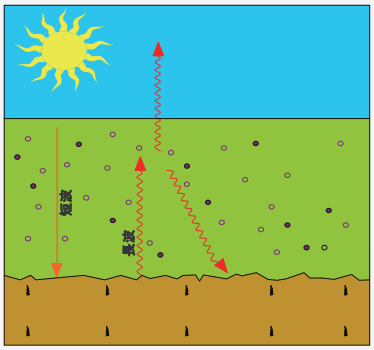
スライド 12

気候変動に関する

周知の事柄と今後の予測

スライド 13

温暖化ガス効果



温暖化ガス効果がない場合の
世界の平均気温は、-18°C

温暖化ガス効果により30～35°C

温暖化ガス効果の影響で、
世界の平均気温は、15°C

＋

温暖化ガス効果の影響で、現在、
平均気温より0.5～0.9° C高くなっている (地域によっては 1.5° 以上)

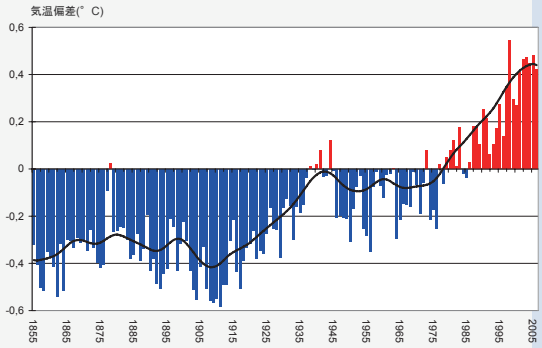
1

スライド 14

世界の気温偏差(1856年より)

世界の平均気温, 1856 - 2006

- 1961年～1990年の平均気温偏差



2006: +0.42°C
1961年～1990年の平均気温を上回っている。(14° C)

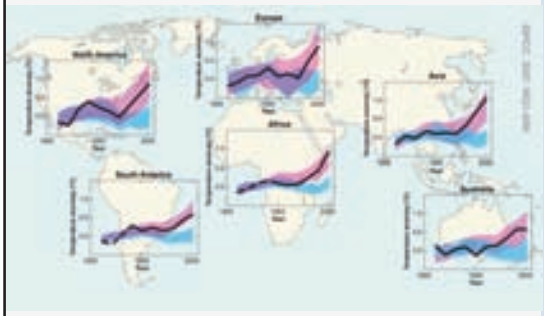
最も暑かった年(降順
1998年, 2005年, 200
年, 2002年、2004年、
(2006年)

Source: Climate Research Unit, UK (2007) in conjunction with Hadley Centre of the UK Met Office

1

スライド 15

大陸別の気温偏差

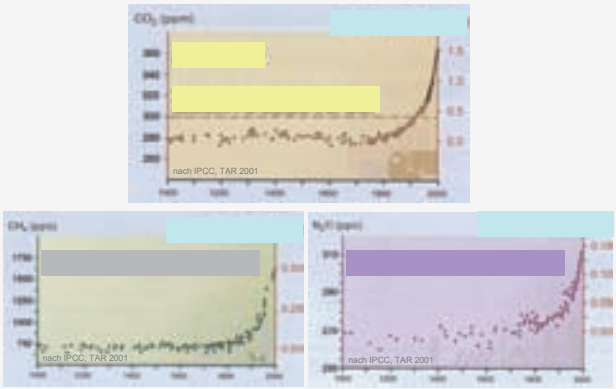


Source: IPCC, AR4, Part 1

1

スライド 16

気温上昇の要因



スライド 17

主な温暖化ガス － 重要事項と数値

(Source: IPCC, other)

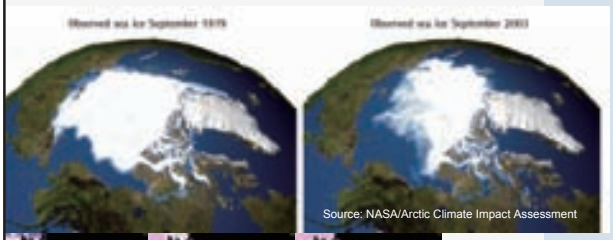
温暖化ガス	1750年の価値 基準[ppm]	2006年の価値 基準[ppm]	人為的要因割合	持続年数(年)	排出源	影響	割合 AGE
CO_2 (二酸化炭素)	280	383	30%	< 150	-自然発生的 -化石燃料やバイオマスの燃焼 -森林開拓	温暖化ガス	62%
CH_4 (メタン)	0,7	1,78	30%	10-12	-畜産業(反芻動物) -湿地帯(沼沢地) -水稲栽培 - 廃棄物処理や排水処理工場 -永久凍土の溶融	温暖化ガス	20%
N_2O (亜酸化窒素)	0,27	0,32	20%	80-150	-化石燃料やバイオマスの燃焼 - 農業(化学肥料) -オゾン層破壊	酸性雨、スモッグ、オゾン層破壊	6%
CFK(フロンガス)	0	0,00001 - 0,0000005	100%	1-260	- アルミニウム製造 - 凍結剤 - 洗浄剤 - 液化石油ガス(LPG)	温暖化ガス、オゾン層破壊	10%
SF_6 (六フッ化硫黄)	0	0,0000042	100%	3200		オゾン層破壊	<1%
H_2O 水蒸気	1-3	1-3		数日間			2%

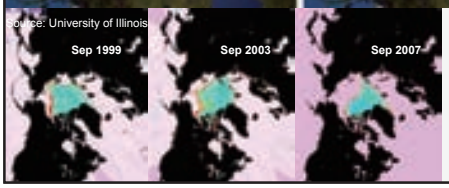
17

スライド 18

北極氷原の縮小

- 過去30年間で、氷冠が約20%縮小



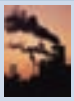


➔ 氷雪地域だけでなく、氷厚も約40%縮小。
21世紀中、あるいは2020年までに夏場の北極氷原が無くなってしまう恐れ。

1

スライド 19

変動するリスク:
地球温暖化による影響



温暖化ガスの増加

気温や海水温の上昇
湿度の上昇

海面の上昇

異常気象による災害

保険者にとっての重要事項
- 大規模災害
- 発生頻度の高い災害
- 新種の危険

19

スライド 20

新種の危険例　その1
2004年　南大西洋で観測された第一号ハリケーン

2004年3月、ブラジル沖で発生したハリケーン

Source: Image courtesy of Earth Sciences and Image Analysis Laboratory, NASA Johnson Space Center, Bild-Nummer ISS008-E-19646.

スライド 21

新種の危険例　その2
2005年　北大西洋で観測された第一号ハリケーン

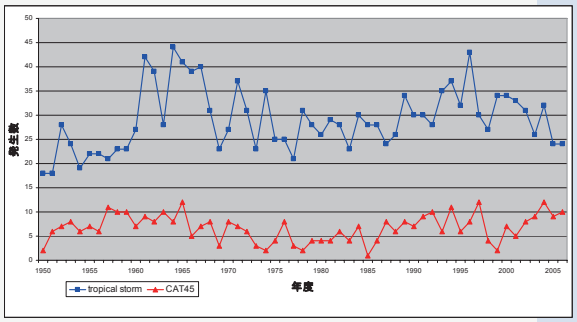
2005年10月、マデイラ沖で発生したハリケーン

スライド 22

北西太平洋地域の
熱帯低気圧活動

スライド 23

北西太平洋地区：熱帯低気圧と
カテゴリー4＆5に区分される台風の年間発生数(1950-2006)

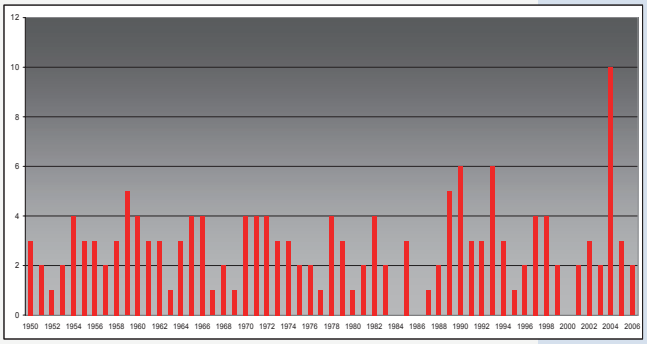


source: JTWC

スライド 24

日本: 台風の年間上陸数(1950-2006)

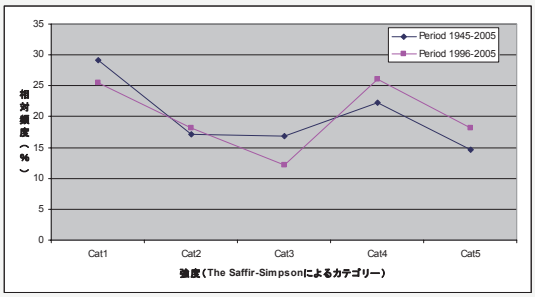
2004年は観測史上
最多の10個



source: JTWC

スライド 25

北西太平洋地区：台風の強度分布図



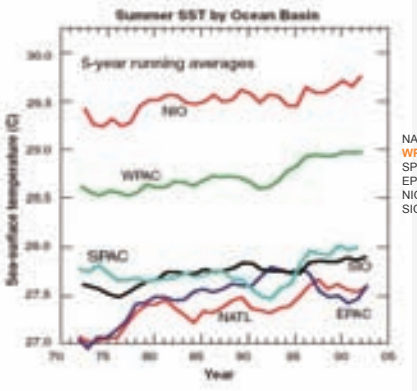
source: JTWC

強い台風の割合は増加、小中規模の台風は減少傾向にある。

2

スライド 26

海面温度の変化



NATL = 北大西洋
WPAC = 西太平洋
SPAC = 南太平洋
EPAC = 東太平洋
NIO = 北インド洋
SIO = 南インド洋

海面温度の上昇により台風が強くなることが、科学的に証明されている。

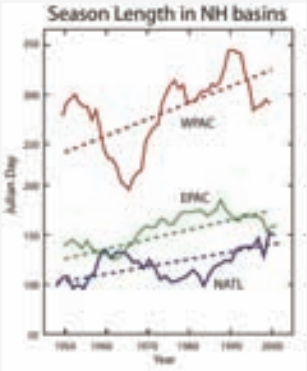
地球温暖化により、今後もこの傾向は続くと予想されている。

ource: Webster et al (2005), Science Vol. 309

26

スライド 27

熱帯低気圧活動の世界規模での変化：活動期間



北半球において、活動期間の長期化が見られる。

Source: J. Curry/P.J.Webster, presentation provided for Hohenkammer Workshop, May 2006

2

スライド 28

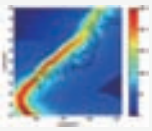
リスクモデリングが示す

危険要素の変化による影響

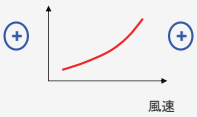
スライド 29

危険要素からリスクまで：自然災害モデリングの原則

確率現象の設定

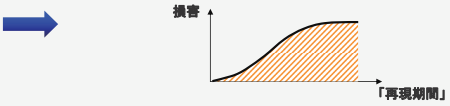


ミュンヘン再保険の分析による脆弱 / 損害感度



個々のポートフォリオ / 責任データ

リスク曲線

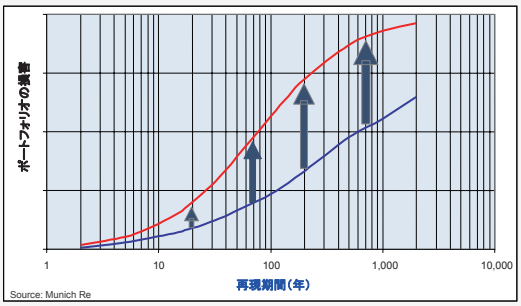


スライド 30

変化する危険要素 → 変化するリスク
→ 変化する損失分布

スライド 31

例:リスクの変化による損失分布の調整
(予想最高損害額曲線)



上側の曲線:
損失分布調整後の
ポートフォリオの例
(下記要因を含む)
- 強い台風
- 台風の被害や洪水リスクの再評価

スライド 32

損害保険業界への影響

スライド 33

変動するリスクに対処するための
保険業界の選択肢

- 変化する危険への、リスクモデルの適応
- 改良された集積コントロール(リスクとクレームのジオコーディング)

- 責任限度と免責の調整(地震の場合と類似?)
- リスク移転(ART) ― 新しい代替的方法

スライド 34

結論

- 多くの科学的証明により、台風などの自然災害の発生頻度や規模と、地球温暖化との偶然的な相関関係が指摘されている。
- 保険業界は新しいリスクモデルの開発により、リスクの変化に対応すると同時に、キャパシティを拡大していかなければならない。
- 新しいタイプの保険や再保険商品の開発(例:京都議定書に関連する商品)。1970年代以降、ミュンヘン再保険が牽引役となって開発に取り組んでいる。

スライド 35

弊社ホームページに掲載している
自然災害リスクに関する独自の調査情報

www.munichre.com (英語版)
www.munichre.co.jp (日本語)

スライド 36

ご清聴、ありがとうございました。

ミューニック リー ジャパン サービス (株)

橋村 芳徳

2007 年災害研究フォーラム
「気候変動が自然災害に与えるインパクト」
～近未来の自然災害はどう変わる？～
平成２０年（２００８年）２月発行

発行　損害保険料率算出機構（損保料率機構）
〒 101-0054　東京都千代田区神田錦町 1-9
TEL　03-3233-4141（代表）
URL　http://www.nliro.or.jp/

印刷　株式会社 三千和商工
〒 104-0032 東京都中央区八丁堀 3-13-9