地球温暖化と極端気象

一般財団法人　気象業務支援センター
研究推進部　第一研究推進室　研究員
理学博士　鬼頭　昭雄

１、はじめに

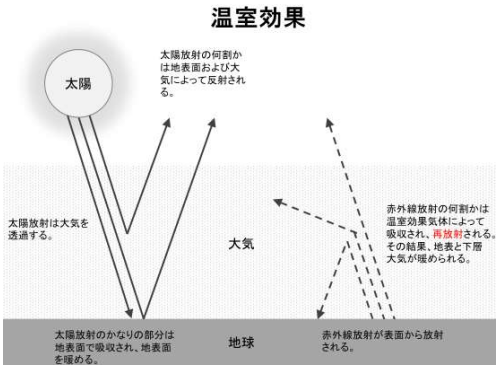
■近年増大する環境リスク

気象庁は今日の天気が悪いことを数日前から予報していて、それがぴったりと当たりました。気象庁にいた者としてはうれしい反面、今日ぐらいは外れてくれても良かったのにとも思います。さて、日本にとって雨が降るというのは喜ばしいことです。世界を平均すると雨はそんなに降らず、日本はその 1.5 倍以上降るのです。世界の中には水が足りなくて、食料面や衛生面などで困っている国も多く、地球温暖化がそれに拍車をかけています。

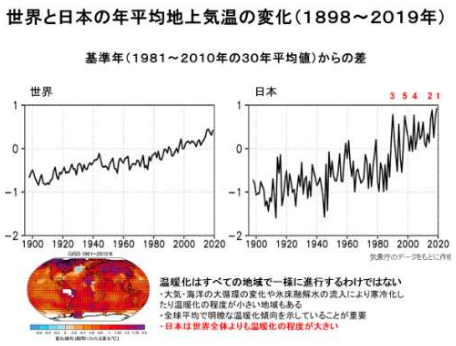
たまに台風や大雨に見舞われますが、災害を防ぐ対策のベースになるものとして、気象予測や地球温暖化予測は重要です。5 年前に書いた「異常気象と地球温暖化　未来に何が待っているのか」（岩波新書）という本が、今月末から始まる岩波新書、秋のフェア 30 冊に選ばれ、手に入りやすいと思いますので、ご興味があれは手に取ってみてください。世界経済フォーラムが毎年発表しているグローバルリスク報告書（2019 年度版）によると、環境リスクに関するものが近年増大していて、発生可能性では 5 つのうちの 3 つ、負のインパクトでは 5 つのうちの 4 つが高位置を占めています。

２、温室効果

■気温を上げる温室効果ガス



地球の気候が成り立っている大元は太陽のエネルギーです。太陽放射の 3 割くらいは地表面や大気によって反射され、残り 7 割が地表面で吸収されます。そして、吸収された分と同じだけ、赤外線の形で宇宙空間へ放出することでエネルギーのバランスがとれています。これだけだと地表面はマイナス 18 度くらいとなるのですが、幸い地球には二酸化炭素などの温室効果気体があり、地球から出て行く赤外線をいったん吸収し、それを上下方向に再放出します（左図の右側）。そのために地表の温度はプラス 15 度くらいになるわけで、これが温室効果と呼ばれているものです。しかし二酸化炭素などの温室効果ガスが増えると下向きに入ってくるエネルギーが多くなる、即ち温室効果がどんどん強くなり、地表の気温が上がってくるのです。



温室効果に関する研究の歴史をたどると、まず 19 世紀のはじめにフーリエという人が、温室効果の原理があるということを初めて明らかにしました。続いて何人かが空気中にある二酸化炭素が赤外線を吸収して温室効果を起こすということを発表しました。19 世紀の終わりには、スウェーデンのアレニウスが、二酸化炭素が地上気温に及ぼす影響を見積もりました。彼によると、大気中の二酸化炭素が倍増した場合、全球の平均気温が 5～6 度上昇するとしています。

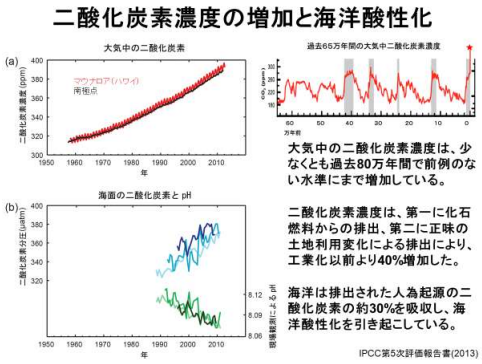
■長いスパンの気温上昇が地球温暖化

右上図は観測データに基づき世界と日本の年平均地上気温の変化（1898～2019 年）をグラフ化したものです。左側の「世界」を見ると、上がったり下がったりしながら上昇し続けています。右側の「日本」

は「世界」に比べ年ごとの振幅は大きいものの、やはり右肩上がりになっています。1 年ごとの上がり下がりは温暖化とは直接関係ありません。例えば、熱帯東部太平洋の海水温が上がるエルニーニョ現象が起こると気温が上がるのは、地球の気候システムの影響によるものです。これに対し、長いスパンで見た気温の上昇傾向が地球温暖化というわけです。「日本」の右上に記されている 1～5 の数字は年平均気温の上位 5 位で、いずれも最近記録されたものです。一方、「気象変動に関する政府間パネル」（IPCC）が 2013 年に出した報告書の中にある「地球全体での気候の変化に関する複数の独立した相補的な指標」では、陸域地上気温、海面水温、夏季北極域海氷面積、北半球積雪面積、氷河質量収支といった、さまざまな断面におけるデータを示して世界全体が温暖化している証拠を明らかにしています。

３、温暖化の原因は二酸化炭素濃度の増加

■濃度が工業化以前より 40％増加

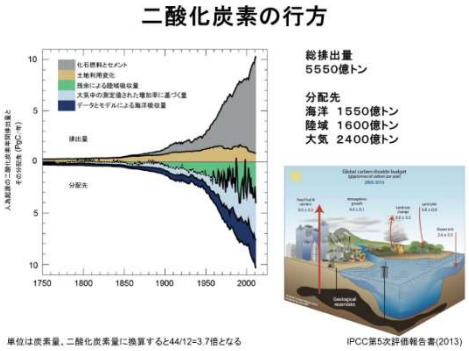


温暖化の原因となっている大気中の二酸化炭素の濃度の増加を示したのが左図の左上のグラフです。1958 年ごろ、世界各国で地球物理的な観測をやろうということになり、その 1 つがこのグラフで示されているハワイのマロナロアと南極点での観測でした。両地点とも二酸化炭素濃度は右肩上がりになっており、工業化以前より 40％増加したことが観測で分かったのです。

グラフをよく見るとマウナロアは季節変化しているのに、南極点はほとんどしていません。なぜかと言うと、季節変化には植物の光合成が関わっているからです。植物は二酸化炭素を吸って酸素を出す光合成と、酸素を吸って二酸化炭素を出す呼吸をします。植物が豊富な北半球では、夏場は光合成が盛んなので大気中の二酸化炭素は減りますが、冬場になると光合成をやめるので濃度は増える。ハワイのグラフがギザギザなのはその現象を表しています。一方、南半球には植物が少ないので、南極点での年間の濃度変化はほとんどないというわけです。左下のグラフは海洋でも二酸化炭素が増えていることを示しています。

■エネルギーが入超に

IPCC が 2013 年に出した第 5 次評価報告書によると、工業化が始まってから人間が出した二酸化炭素は 5550 億ﾄﾝと見積もられていて、右下図は排出量とその分配先の経年変化を示しています。排出元の内訳は化石燃料、セメント製造、土地利用変化（森林伐採など）で、これらにより排出された二酸化炭素のうち、海洋と陸域が 30％ずつ吸収し、40％が大気中に残った分ということになります。



工業化が始まる前の 18 世紀ごろは、地球のエネルギーはほぼ平衡状態を保っていました。太陽から入ってくるエネルギー量と、赤外線の形で宇宙へ出て行くエネルギー量が同じで、地球全体の気温は一定だったのです。しかし今は温室効果ガスが増えてきたことにより、エネルギーが入超になっています。最新の報告によると、太陽から 1 ㎡あたり 340 ﾜｯﾄ入ってくるのに対し、出て行くのは 339 ﾜｯﾄに減っており、差し引き 1 ㎡あたり 1 ﾜｯﾄが地球にたまり続けるという計算になります。

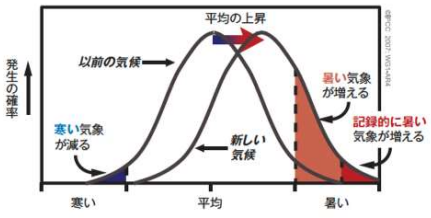
■入超分の大半が海に蓄積

入超分のエネルギーの大半は海にため込まれて海の温暖化を招いており、1971 年から 2018 年の間に蓄積されたエネルギーの 89％を占めています。海の深さは平均 3000 ﾒｰﾄﾙくらいですが、深さ 700 ﾒｰﾄﾙくらいまでの表層にその 52％が蓄積され、4％が氷河や氷床の融解に使われたということです。海水温が上がると海の体積が膨張し、海面の水位を上げることにつながります。

４、気温の上昇

■平均気温のわずかな上昇が極端気温を招く

平均気温が上昇したときの極端な気温への効果



極端現象とは、特定の変数の値の上端と下端にある稀な現象のこと。分布の比較的小さな移動が極端現象の頻度（および起こりうる最大の極端現象）を相当に変化させる。

IPCC 第１作業部会第４次評価報告書(2007)

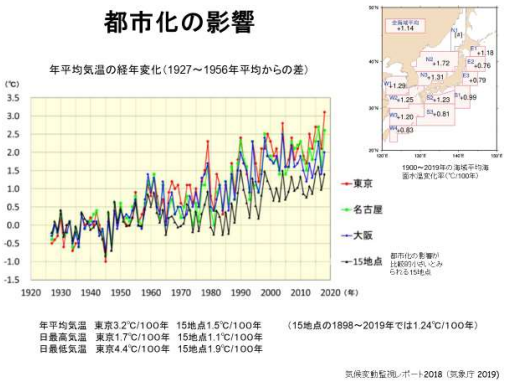
この 100 年で平均気温は 1 度くらい上昇したと言われています。大した上昇ではないと思われるかもしれませんが、極端な気温の発生に非常に大きな影響を及ぼすことを示しているのが左図です。釣り鐘型のカーブの左側が以前の気候、右側は平均気温が上昇した際の新しい気候を表しています。気温分布の小さな移動でも、記録的に暑い気象の値や頻度を相当変化させることが見て取れます。極端な気温の長期変動を示した気象庁作成のグラフによると、猛暑日は 1990 年代以降大きく増加し、熱帯夜は長期的に増えている一方で、冬日は減少しているのが分かります。

こうした極端な気象が地球温暖化のせいであると、最近自信をもって言えるようになってきました。日本では 2018 年 7 月に記録的な猛暑がありましたが、気象庁気象研究所などは昨年、「工業化以降の人為起源による温室効果ガスの排出に伴う地球温暖化を考慮しなければ、2018 年のような猛暑は起こりえなかったことが明らかになった」と発表しています。

■東京は 100 年間で 3 度以上上昇

大都市においては気温がさらに高くなっています。都市化に伴う影響として、土地利用形態の変化の影響、建築物の影響、人口排熱の影響の 3 つが挙げられます。土地利用形態の変化としては、気温を下げる役割を果す草地や森林の喪失があります。また、建築物は日中に熱を吸収し夜に吐き出すので、夜の気温が下がりにくくなります。さらに都市のいろんな活動によって熱が出されます。

都市化の影響



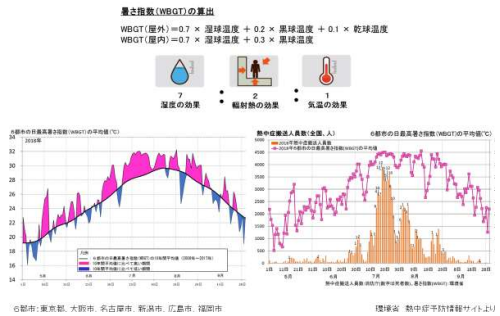
年平均気温　東京3.2℃/100年　15地点1.5℃/100年　（15地点の1898～2019年では1.24℃/100年）
日最高気温　東京1.7℃/100年　15地点1.1℃/100年
日最低気温　東京4.4℃/100年　15地点1.9℃/100年

気候変動監視レポート2018（気象庁 2019）

右図は東京、名古屋、大阪と、都市化の影響が比較的小さいとみられる 15 地点の年平均気温の変化を示したグラフです。1920 年から 2020 年までの 100 年間の年平均気温の上昇は、15 地点では 1.5 度なのに対し、東京では 3.2 度を記録しており、その差が都市化による影響ということです。右上の図は日本近海の海面水温がどれくらい上昇しているかを示したものですが、これと先の 15 地点との上昇の値がほぼ同じになっており、15 地点は都市化の影響をかなり免れていることが分かります。

■暑くなり始めに注意

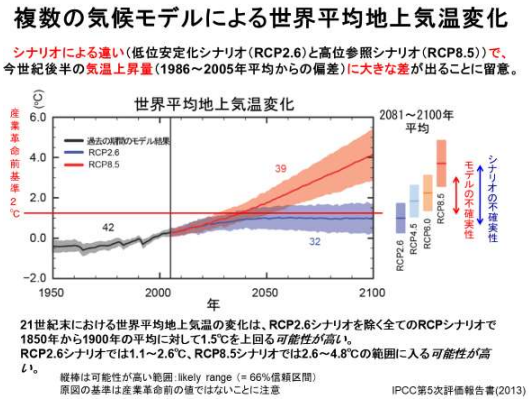
暑さ指数と熱中症



6都市：東京都、大阪市、名古屋市、新潟市、広島市、福岡市　　環境省「熱中症予防情報サイト」より

夏の暑さへの対策の１つとして「暑さ指数」なるものが発表され、私たちがどういう行動をとればいいのかへの指標になっています。人体にとって気温だけが悪い影響を及ぼすのではなく、体温を下げてくれる汗をどれだけかけるかどうかも重要になります。そのために、厚さ指数の算出には湿度の効果が 7 割を占め、ビルなどによる輻射熱の効果が 2 割、気温の効果が 1 割となっています。左図の左側のグラフは、2018 年の東京、大阪、名古屋、新潟、広島、福岡の 6 都市の暑さ指数の変化を示しています。そして右側のグラフを見ると、指数が大きくなり始めた 7 月上旬の同じ時期に、熱中症の搬送人数もピークを迎えていることが分かります。ピークの後、暑さ指数が高止まりになっても、人間の体がそれに順応するので、搬送者は少なくなっていきます。同年夏の熱中症による死亡者は 1500 人を超え、その 8 割以上が 65 歳以上の高齢者だったということです。

■高齢者の熱中症リスクが深刻化

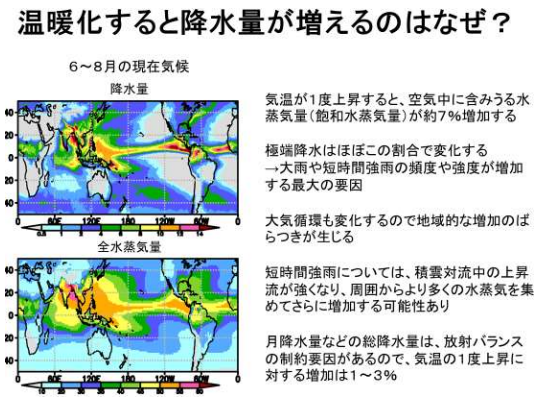


気温が今後どのように変化していくのかについて、IPCCが2013年の報告書で左図のように示しており、低位安定化シナリオ（RCP2.6）と高位参照シナリオ（RCP8.5）で、今世紀後半の気温上昇量に大きな差が出るとしています。世界の気温が産業革命前より 2 度を上回らないような低位安定化シナリオだと、グラフの低い部分くらいに収まるけれども、二酸化炭素をどんどん出す高位参照シナリオだと上の部分のようになってしまいます。その結果、今世紀末の8月の暑さ指数は、東京より西側では「安全レベル」の日はゼロとなり、日中の半分以上の時間が「厳重警戒」または「危険レベル」になるとされています。そして東京 23 区では、2050 年代に 2000 年代と比較して、熱中症のリスクが 2.4 倍増加すると予測されています。特に高齢者の増加率が大きく、将来の高齢化を考えればその影響は深刻です。

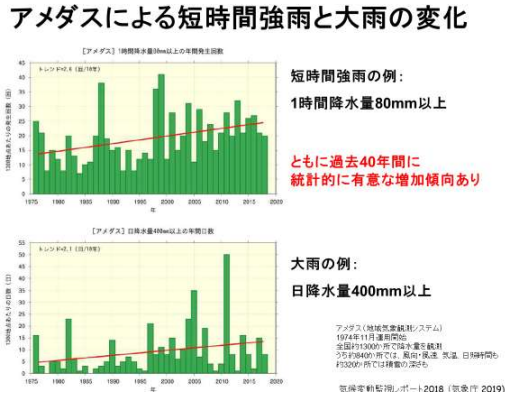
５、大雨、短時間強雨の増加

■気温上昇に大きく反応する短時間強雨

右下図の上側は6～8月の降水量を示したもので、熱帯や東太平洋などでは非常に多く、北アフリカ、中東、西アジア、南アフリカ、オーストラリアなどではほとんど降らないことが分かります。下側は大気中にある水蒸気の量を示していて、西太平洋、インド付近などで多くなっています。



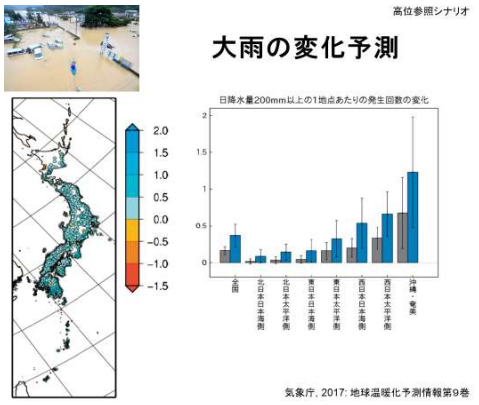
このような分布になっているのは、大気の流れや海水温の分布などが影響しています。気温が 1 度上昇すると、空気中に含みうる水蒸気量（飽和水蒸気量）が約 7%増加しますが、極端な降水は、ほぼこの割合で変化するのです。ただし大気の流れも変化するので、増加の程度には地域的なばらつきが生じます。どういうところがより増加するかというと、いま雨の多いところです。こういう地域は周りから風や水蒸気が集まってくるからで、温暖化して水蒸気量が増えると、そういう地域がより影響を受けるということですね。雨が多く降ると上昇流が強くなりますが、それがどこかで下降します。空気が下がってくるところでは雲ができにくいので、雨が今以上に降らなくなってしまいます。また、短時間強雨については、積雲対流中の上昇流が強くなり、周囲からより多くの水蒸気を集めてさらに増加する可能性があるので、気温が 1 度上昇すると 7%どころか 10%、15%と増える恐れがあります。一方、総降水量となると放射バランスの制約要因があるので、1 度上昇に対する増加は 1～3%程度だとされています。



ご存知のアメダス（地域気象観測システム）は 1974 年から運用されています。全国の約 1300 か所で降水量を計っていて、そのうちの 840 か所では風向、風速、気温、日照時間も計っています。アメダスが運用される前は、職員が午前 9 時ごろにメスシリンダーにたまった雨の量を計っていて、データは 1 日に 1 つだけだったのですが、アメダスにより 1 時間降水量が計れるようになりました。図の上側は 1 時間降水量 80 ㍉以上の年間発生回数の推移を示していますが、年によって増減が激しいものの、全体では増え続けています。下側の日降水量 400 ㍉以上の大雨の年間日数も同

様に増えています。ちなみに短時間強雨と大雨はまったく性質の違うものです。前者は 1 つの積乱雲がもたらすもので、1 時間くらいで終わります。片や大雨のほうは、梅雨前線の上を小さな低気圧が次々と移動してくるとか、台風が来るとかして、雨が長時間にわたって降り続くケースにあたります。

■降水量が 1.3 倍になると洪水発生頻度は 4 倍に



左図は、高位参照シナリオにおける日降水量 200 ミリ以上の 1 地点あたりの発生回数の変化を示したもので、棒グラフの左側が現在、右側が 21 世紀末です。いずれの地点においても倍くらいになっています。大雨による河川の洪水は、降雨量の増加割合よりも増幅するとされています。例えば降水量が 1.3 倍になった場合、川の流量は 1.4 倍、洪水の発生頻度は 4 倍になるということです。同じシナリオにおける短時間強雨においても同じような予測となっています。短時間強雨が発生すると下水道がもたなくなってしまい、いわゆる内水氾濫を引き起こします。しかし、これまでの下水道整備により達成された安全度は、現在の気候を前提とした場合でも、計画上の目標に対して不足しており、気候変動に伴ってさらに短時間強雨が増えれば、都市部の水害対策の困難性は一層高まることでしょう。

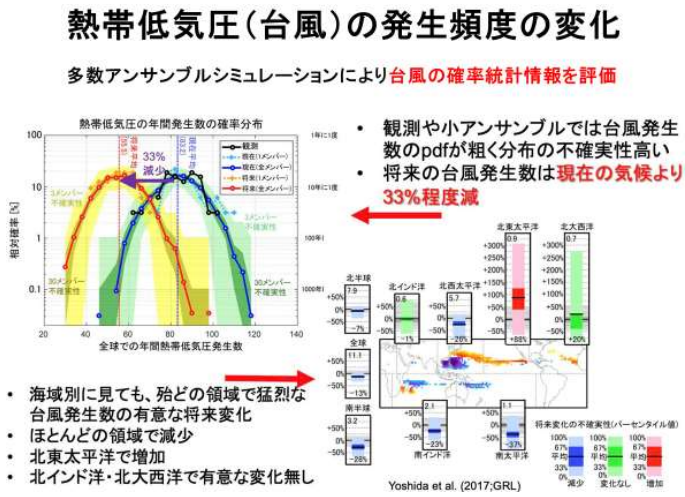
6、台風の将来予測

■全体的には 33%減少

下図はたくさんの実験をして台風の発生頻度を評価した研究のリポートです。左側のグラフを見ると、世界全体の台風の年間発生数の平均は現在 83.2 個なのに対し、将来は 55.5 個と 33%減少するとしています。海域別ではほとんどの領域で減少し、北東太平洋では増加。北インド洋や北太平洋では変化がないということです。

■いったん発生すると弱まりにくい

では全体的に減るのはどうしてでしょうか。地面付近の気温は高いところの気温より高いわけですが、地面付近がより高くなると対流が起こり、不安定な状態になります。一方、地球が温暖化すると、地面付近の気温の上昇よりも、高いところのほうが大きく上昇することが分かっています。すると、地面付近と高いところの気温差が少なくなり、対流が起こりにくくなって大気が安定し、台風の発生は減るだろうと予測されているわけです。ただ、いったん発生すると、暖かくて台風のエネルギーとなる水蒸気が豊富なので、発達しやすくなります。日本付近において強い台風はフィリピンの東側でしょっちゅう発生しています。最低気圧が 900hPa を下回るようなのも発生していますが、北上して日本に来る時には 950hPa～970hPa くらいに弱まります。しかし将来、日本の南の海面水温が高くなると台風が弱まりにくくなります。



■しかも速度が遅くなる

日本の上空には西から東に強く吹くジェット気流があり、台風がこれに乗ると速度が速まって日本から離れていきます。しかし温暖化によってジェット気流が北側に行くと予想されており、台風の移動速度が遅くなってしまう心配があります。これに降水強度が増えることを加味すれば、ある地点における積算降水量が増大する可能性があります。例えば移動速度が 10%遅くなれば、雨が続く時間が 10%分多くなり、さらに降水量自体も 10%増えれば総降水量は都合 20%増えることになるのです。ちなみに、

1959 年の伊勢湾台風を機に 1961 年に災害対策基本法ができ、国と地方自治体が一体となった防災態勢が整備されましたが、この半世紀以上、930hPa を下回るような猛烈な台風は上陸していません。

７、温暖化の影響と緩和策

■生態系は急激な変化についていけない

IPCC には 3 つの作業部会があり、第 1 作業部会は温暖化の科学評価、第 2 作業部会は脆弱性などの影響評価、第 3 作業部会は緩和策を担当し、それぞれ評価報告書を出しています。第 2 作業部会では 2007 年、温暖化が引き起こす社会的、経済的な影響に関する第 4 次評価報告書を発表しました。そこでは 4 つの影響を挙げていて、1 つ目は「急激な気候の変化に対応できない生態系へのダメージ」です。この問題に関するキーワードは「急激な気温の変化」です。地球の長い歴史を見ると、数度の気温変化はいくらでも起こっていますが、それは何千年、何万年もにわたる長い期間に起きていることで、100 年のうちに数度の気温変化というのはありませんでした。長くてゆっくりとした変化だと、例えば植物だと分布域を変えるなどして対応できますが、急激に変化すると生態系はついていけないのです。続いて「気温や海面水位の上昇による国土喪失や社会基盤の損失」、そして「降水パターンの変化に伴う水資源の分布や農業適地の変化」を挙げています。世界全体では干ばつの影響を受ける地域のほうが、洪水の影響を受けるところよりも広く、人口も多いのです。

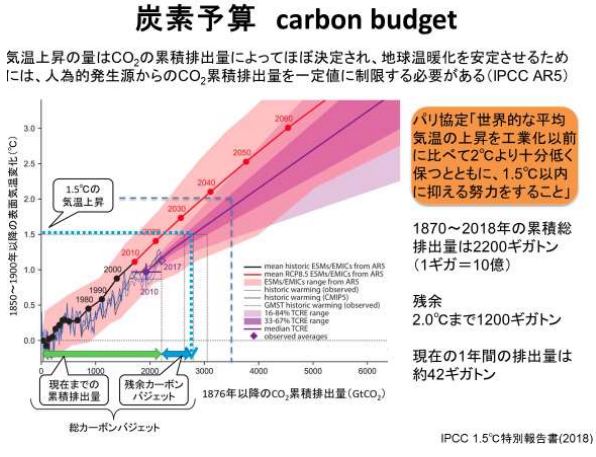
■2～3 度以上の上昇では全員が損をする

最後は「世界平均気温の上昇がもたらす地域的な損得」ということですが、1～３度の上昇だと損をする人もいれば、得をする人もいます。例えば、寒い地方の人はやはり得をするわけですね。ところが 2～3 度以上の上昇となると、全ての地域で便益の減少、あるいはコストの増加となり、全員が損をするとしています。

■ハザード、脆弱性、暴露を減らせ！

気候に関連したリスクというのは、「ハザード」「脆弱性」「暴露」の相互作用の結果もたらされるので、それぞれを小さくすることでリスクを減らすことができるとされています。ハザードというのは、気候の場合で言えば高温化、大雨、台風といった危険な事象、傾向、要因ということです。脆弱性というのは、そういった事象に対する備えがあるかどうかです。また、いくら河川が氾濫しても、そこに住宅や工場などがなければ大きな被害はないわけで、逆に住宅や工場などが危ないところに存在していることを暴露と言います。

IPCC 第 2 作業部会第 5 次評価報告書（2014）は、アジアにおける主要なリスク（洪水、暑熱、干ばつ）と適応の可能性について言及しています。例えば暑熱の場合、リスクは現在だと中程度だが、今世紀末には非常に高くなるとした上で、暑熱リスクに対する適応と課題について、①熱中症警報などの健康警報システム②ヒートアイランド現象を軽減するための都市計画③屋外作業員の熱ストレスを回避する方策、などを挙げています。



■30 年もたずに 2 度上昇してしまう

さて、炭素予算という考え方があります。気温上昇の量は二酸化炭素の累積排出量によって決まるので、温暖化を安定させるためには、人為的発生源からの累積排出量を一定値に制限する必要があるというものです。左のグラフのヨコ軸は 1876 年以降の累積排出量、タテ軸は気温変化です。1870～2018 年の累世総排出量は 2200 ギガﾄﾝとされているので、例えば気温の上昇を 2 度までに抑える場合だと、グラフをたどると累積排出量を 3400 ギガﾄﾝまでにしなければならず、差し引き 1200 ギガﾄﾝが 2 度までの残余ということになります。現在の 1

年間の排出量は約 42 ギガトンですから、30 年もたずに 2 度上昇になってしまうという計算になります。

■最終的には「負の排出」も必要に

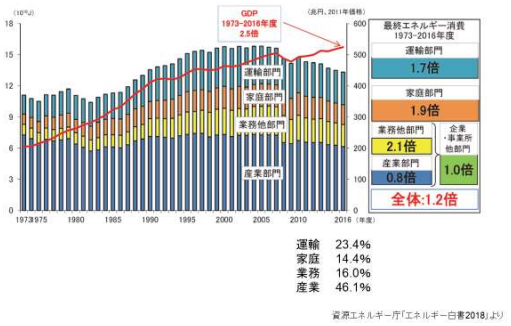
パリ協定は「世界的な平均気温の上昇を工業化以前に比べて 2 度より十分低く保つとともに、1.5 度以内に抑える努力をすること」というものです。この協定に基づいて各国が現在までに提出・約束している削減目標では 3 度程度上昇するだろうとされています。2 度以下にするためには今から少しずつ下げ、どこかの時点でゼロにして、最終的にはネガティブにしないと達成されません。ネガティブということは、二酸化炭素を出さないということだけではなく、既に存在する二酸化炭素を吸収するなどして減らさなければならないということです。この負の排出については実験レベルでもさまざまな技術が考えられていて、そのうちできそうなこととして大規模植林と、発電所におけるバイオマスエネルギー燃焼と二酸化炭素回収の組み合わせの 2 つが挙げられています。

■日本のエネルギー消費は減少

日本のエネルギー消費の経緯を表した右下グラフによると、意外なことに 2000 年の初めをピークに、徐々に減ってきています。GDP は増え続けていますから、うまくエネルギーを使っていると言えますが、二酸化炭素の排出量はそんなに減ってはいません。

家庭での二酸化炭素排出量はというと、電力が 1 番大きく、以下ガソリン・軽油、灯油、都市ガス、廃棄物の順になっています。用途別では動力他（照明や冷蔵庫などの電気機器の利用）、自動車、給湯、暖房などが上位を占めています。

日本のエネルギー消費



資源エネルギー庁「エネルギー白書2018」より

食料システムに目を向けると、農畜産業、同産業のために必要な土地利用変化、食料加工・流通・調理などで成るシステムから排出される温室効果ガスの量は、総排出量の 21～37%を占めているということです。興味深いのは、私たちが毎日食べる食品ごとに、温室効果ガスの排出量は違うのです。最も多いのは草をいっぱい食べる牛肉で、草を育てるための土地利用変化に伴う温室効果ガスの排出などが関係しているということです。

8、まとめ

人間活動による温室効果ガスの増加により、気温が上昇し、降水量の地域や季節による振れ幅が増大しています。産業革命以降、すでに 1 度上昇しており、今後さらなる 1 度の上昇は必至です。これをどこで抑えられるでしょうか。また、極端気象の頻度や強度は気温上昇量に依存しており、適応と緩和の両面策が必要となっています。

【質疑応答】

Q　地球はいま間氷期にあると言われていますが、化石燃料の使用をやめたら温暖化が防げるのなら、これを温存して氷期に備えるという考え方はないのでしょうか。

A　地球が次の氷期に入りそうなのは、温暖化がなくても 3 万年くらい先だと言われています。一方、私たちが議論しているのは 100 年くらいのスケールですから、スケールが 300 倍も違うので、問題外の考え方だと思います。

Q　空気中に数多くある気体の中で、なぜ二酸化炭素が赤外線を吸収して再放出するのか。そのメカニズムを教えてください。

A　分子の化学的性質の違いに尽きます。大気中に最も多く含まれる酸素は O が 2 つ、次に多い窒素は N が 2 つ、それぞれ横に並んでいます。これに対し二酸化炭素は C と 2 つの O がちょっとずれて並んでいて、そういう形をした分子は外からのエネルギーを吸収する性質があり、温室効果ガスとされているのです。

Q　IPCC は Intergovernmental Panel on Climate Change ということですが、Intergovernmental

すなわち「政府間の」とうたっていることの趣旨や意義を感じられたことはありますか。

A　政策に直接関与するのは IPCC ではなく UNFCCC です。IPCC には評価報告書を作るプロセスと、それを政府間で採択するプロセスの 2 段階があります。報告書は、各国政府や NGO からの推薦をもとに IPCC が選んだ科学者がボランティアで作ります。次に総会で報告書を承認、採択しますが、そのプロセスでは各国の代表が意見を述べることができます。その際、第 1 作業部会の科学評価や、第 2 作業部会の影響評価については、政府間で対応が異なることはあまりありませんが、第 3 作業部会の緩和策については国ごとに利害関係があるので、文言を変えてくれというようなコメントを出す政府もあります。最終的には満場一致で合意したものだけが政策決定者向けの要約として出てきますので、文言が柔らかくなるというようなことも実際にあります。

鬼頭昭雄先生のプロフィール

学歴

- 京都大学理学部，1975 年 3 月卒業
- 京都大学大学院理学研究科博士後期課程，1978 年 3 月中退

職歴

- 気象庁 気象研究所 気候研究部 部長，2007-2013
- 日本学術会議 連携会員，2011-2017
- 国立大学法人筑波大学 生命環境系 主幹研究員，2013-2017
- 気象庁気象研究所 客員研究員，2013-現在
- 一般財団法人気象業務支援センター 地球環境・気候研究推進室 室長，2017-2020
- 一般財団法人気象業務支援センター 研究推進部　第一研究推進室　研究員，2020-現在

賞

- 日本気象学会賞，社団法人日本気象学会，1993
- IPCC（気候変動に関する政府間パネル）2007 年ノーベル平和賞受賞貢献感謝状，IPCC，2008

委員

- 環境省地球環境局 中央環境審議会 専門委員（気候変動影響評価等小委員会）
- 気象庁＆文部科学省研究開発局 気候変動に関する懇談会 委員
- IPCC 第２作業部会第６次評価報告書　執筆者

著書など

- 『文藝春秋オピニオン　2019 年の論点 100』に寄稿（2018 年 11 月）
- 『変わりゆく気候　気象のしくみと温暖化』（2017 年 6 月、NHK 出版）
- 『異常気象と地球温暖化　未来に何が待っているか』（2015 年 3 月、岩波新書）
- 『気候は変えられるか？』（2013 年 11 月、ウェッジ社）